PNEUMATOLOGIA INDUSTRIALE

OVVERO

APPLICAZIONI DELLE DOTTRINE DE' FLUIDI AERIFORMI

E

TEORIA

DELLE MACCHINE RELATIVE

PIU' SPECIALMENTE

DEL VAPOR D'ACQUA E DELLE MACCHINE A VAPORE

DI

LUIGI PACINOTTI

PROF. DI FISICA TECNOLOGICA E DI MECCANICA SPERIMENTALE

NELL'UNIVERSITA' TOSCANA

PISA

TIPOGRAFIA PIERACCINI

1846

PNEUMATOLOGIA INDUSTRIALE

OVVERO

APPLICAZIONI DELLE DOTTRINE DE' FLUIDI AERIFORMI

E

TEORIA

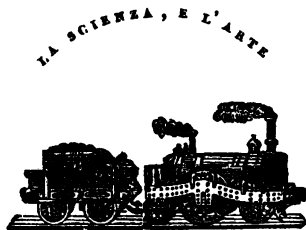
DELLE MACCHINE RELATIVE

PIU' SPECIALMENTE

DEL VAPOR D'ACQUA E DELLE MACCHINE A VAPORE

DI

LUIGI PACINOTTI, 1807 - 1889

PROF. DI FISICA TECNOLOGICA E DI MECCANICA SPERIMENTALE

NELL'UNIVERSITA' TOSCANA

PISA

TIPOGRAFIA PIERACCINI

1854

PNEUMATOLOGIA INDUSTRIALE

1. *Nozioni preliminari* — I fluidi elastici o aeriformi tendono ad espandersi, e solo possono contenersi in determinato volume per una forza estrinseca al fluido, la quale contrabbilanci il lor potere espansivo.

Questo potere espansivo chiamasi *elasticità*, o *tensione* del fluido.

Il principio d'eguaglianza di pressione (*Intr.* 158) serve anche in questo trattato di fondamento. Per esso quando una pressione si effettua in un verso sovra una massa fluida, questa ripreme egualmente in tutte le altre direzioni.

La pressione atmosferica è misurata col mezzo del barometro dalla altezza che vi tiene la colonna del mercurio, la quale è di 760^{mm} circa, e per ogni centimetro quadrato corrisponde ad $1^{k},033$ (*Int.* 100).

I fluidi aeriformi non solo cambiano volume mutando la pressione, e la temperatura, alle quali sono sottoposti, ma possono cambiare ancora stato. Diconsi permanenti quelli che non si riducono facilmente allo stato liquido, come l'aria, e il gas idrogene, e chiamansi non permanenti o vapori, quelli che si riducon liquidi anche naturalmente, o per le variazioni di pressione e di temperatura, che accadono nell'atmosfera.

Le dottrine dei fluidi aeriformi non possono andar disgiunte da molte di quelle del calorico. E in ciò che son per esporre noterò le temperature in gradi del termometro centigrado (*Int.* 7). L'acqua che dallo stato di ghiaccio si liquefà assorbe 75° di temperatura per formare il calorico latente di liquefazione. Parimente l'acqua che si evapora riduce latente una nuova quantità di calorico che è detto di fluidità, e corrisponde circa a 550°. Senza una determinata quantità di calorico non si ha nè la liquefazione, nè la evaporazione; e neppure la dilatazione dell'aria, e dei corpi in genere.

Nei solidi il confronto delle quantità del calorico, necessario per elevar di un grado pesi eguali di diverse sostanze, stabilisce il rapporto del loro calorico specifico. E nei gas per ottenere il calorico specifico si confrontano le quantità di calorico assorbite per avere l'aumento di un grado da volumi eguali di differenti fluidi elastici sottomessi in principio alla medesima pressione. Nel fare l'esperienza quel volume di gas, mentre aumenta la sua temperatura, può mantenersi costante variando la pressione; o può, lo che torna più comodo, farsi variare tenendo ferma la

pressione. Nel primo caso si ha il calorico specifico sotto costante volume, e nel secondo il calorico specifico sotto costante pressione, e questo è maggiore del primo per tutta la quantità di calorico che renderebbesi libero se istantaneamente si riportasse al primitivo volume.

Calorico specifico sotto il medesimo volume e sotto la pressione di $0^{m},76$	*Sotto il med. peso press. $0^{m},76$ essendo per unità il calor. specif. dell' acqua*
Aria 1,0000	0,2669
Idrogene. . 0,9035	3,2936
Azoto . . . 1,0000	0,2754
Ossigene. . 0,9765	0,2361
Acido carb. 1,2583	0,2210
Gas olefiant. 1,5530	0,4207
Ossido di carbone . . . 1,0340	0,2884
Ossido d'azoto 1,5503	0,2369

Come il calorico latente, così anche il calorico specifico varia molto nei diversi gradi di espansione in cui posson ritrovarsi i fluidi aeriformi; e perciò l'aria atmosferica. Il calorico specifico dell'aria diminuisce più lentamente che la di lei gravità specifica: le densità dell'aria 1, $^1/_2$, $^1/_4$, $^1/_8$ corrispondono ai calorici specifici 5, 4, 3, 2.

L'aria e tutti i fluidi aeriformi sono pessimi conduttori del calorico. Il riscaldamento nelle loro masse si fa per il contatto immediato col corpo caldo, a cui si portano tutte le diverse particelle, le quali per la gran mobilità di cui godono, son pronte a sollevarsi appena riscaldate e dilatate. E la piccola conducibilità, che hanno i gas, e i vapori, si fa anche minore al loro dilatarsi. Contuttociò nell'aria atmosferica, nel gas ossigeno, e nel gas azoto è presso a poco ad egual grado, minore trovasi nel gas acido carbonico; e quadrupla nel gas idrogeno.

CAPITOLO II.

Statica della Pneumatologia.

Tensione, volume e peso dei fluidi aeriformi

9. ***Elementi dai quali dipende il volume e la densità dei gas. Legge del Mariotte*** — Poichè la compressione può diminuire il volume di un fluido aeriforme, ed un' aumento di temperatura lo espande, dà due elementi, pressione e temperatura, proviene la densità di un tal fluido. Onde si possa comprendere come l'uno e l'altro vi contribuiscano conviene che si parli separatamente di ciascuno.

Una legge degna della più grande attenzione è quella conosciuta sotto il nome di Mariotte, o del Boyle: che le densità del fluido, o aria, stanno in ragione diretta delle pressioni. Questa fu confermata fino a 17 atmosfere dai signori Arago e Dulong per l'aria, ed estesa anche agli altri fluidi aeriformi, ed ai gas. Il volume di essi sarà dunque in ragione inversa della pressione cui si sottopongono in una medesima superficie, e il loro peso in ragion diretta. Onde noto essendo che la densità media dell'aria atmosferica al livello del mare, o sotto la pressione di 760^{mm} ed a zero gradi, è tale che un metro cubo di essa pesa $1^{k},29$; potrà dedursi che stan-

do costante la temperatura questa densità, e peso, sotto due atmosfere di pressione si fa doppio, e che desso si fa più piccolo quanto maggiormente scema la pressione. La pressione ha per reazione la elasticità del fluido, quindi la forza elastica dell'aria a temperatura eguale è proporzionale alla sua densità. Nè supponesi che sia coll'aria frammisto vapore acqueo, e quando vi fosse all'elasticità dell'aria dovrebbe aggiungersi la tensione del vapore, e la densità resulterebbe dalla mescolanza dei due fluidi. La legge delle condensazioni non ha più luogo quando i gas per una gran diminuzione di volume hanno acquistato il maximum di densità. Essi sono allora anche al massimo di elasticità, e stanno per convertirsi in liquidi.

3. *Forza proveniente dalla compressione dei gas. Schioppo pneumatico, e tromba calcante*— La indicata relazione tra la tensione e la densità dei gas ci mostra che possono aversi grandi forze dai gas compressi, le quali in meccanica devono considerarsi non tanto come potenze disponibili, quanto come resistenze nocive, e come reazioni che ci posson far valutare le contrapposte azioni. Sotto quest'ultimo punto di vista si presenta lo studio dei manometri ad aria (*Int.* 48) che servono a misurare le pressioni dei fluidi: avrem luogo di ritornare su questo soggetto.

Nell' acciarino pneumatico (fig. 1) si ha una resistenza potente presentata dall'aria che rimane compressa tra il fondo del cilindretto metallico e la parte inferiore dello stantuffo che violentemente si abbassa. Quando con un colpo di mano si fa un tale abbassamento sollecito, e subito si ritrae fuori lo stantuffo trovasi accesa l'esca, che è in una piccola cavità al di sotto di questo: lo che mostra il calorico che si sviluppa. Si costruiscono anche acciarini pneumatici in tubi di cristallo i quali mostrano insieme il fenomeno della luce nell'atto della compressione. Basta che l'aria si riduca a $^{1}/_{5}$ del suo volume per aver tanto calorico da accendere l'esca, e per ottenere sviluppo di una viva luce.

Come potenza si ha la forza dell'aria nella seguente macchina. Lo schioppo pneumatico (Tav. I. fig. 2) è composto di una cassa per l'aria A fatta di lamiera, e chiusa col mezzo di una valvula che si apre da fuori al dentro. All'intorno di questa è un collo B munito di una vite, ove si avvita la tromba calcante C nell'atto della carica, e dopo la canna D dell'arme. La tromba calcante C consiste in uno stretto cilindro metallico ove gioca uno stantuffo, e dove è un'apertura un poco avanti del limite della corsa di questo. Quando vuol caricarsi lo schioppo: avvitata la tromba alla cassa si pone sotto i piedi dell'operatore la gruccia dell'asta dello stantuffo stando volta in alto la cassa: si preme in basso questa, e lo stantuffo percorre la tromba comprime l'aria che vi era, e con la forza dell'aria compressa apre la valvula della cassa, e caccia l'aria entro a questa: chiudesi da se la valvula per l'elasticità dell'aria raccolta nella cassa. Allora tirata in alto questa percorre lo stantuffo in senso opposto la tromba, ove sul primo vien fatto il vuoto, ma appena lo stantuffo giunge al di sopra della apertura vi rientra l'aria, che nella successiva corsa vien cacciata entro la cassa, e così di seguito. Potrebbe lo stantuffo non esser cieco, ed avere una valvula come si dirà

per la macchina a compressione, ed allora non si soffrirebbe tanto sforzo nel ritornare indietro lo stantuffo, e si farebbe più sollecita l'operazione potendosi tenere la tromba di un diametro non tanto piccolo. Essendo compressa l'aria a più atmosfere nella cassa, dicesi carica, e vi si avvita la canna. In questa si pone la palla di giusto calibro che deve essere esplosa. Esiste presso il fondo di questa un grilletto, che scattato fa avanzare un piccolo cilindro *m* (come vedesi nella figura) contro la valvula e l'apre. Allora in quel brevissimo tempo che sta aperta la valvula esce dalla cassa una certa quantità d' aria compressa, e s'incanala nella canna, ove con la sua forza muove e scaglia la palla. E poichè di poco si è diminuita la quantità dell'aria contenuta nella cassa, più scariche possono farsi ponendo successive palle nella canna, e con forza poco decrescente, e tutte senza rumore tranne un piccol sibilo dell'aria. In alcuni schioppi è doppia la canna, e tengonsi nella prima tutte le palle, le quali passando, una alla volta, nell' altra canna si ha più celere la successione delle scariche La forza che si può ottenere è sempre inferiore a quella dell'arme da fuoco, tale però da render micidiale quest'arme.

4. *Macchina a compressione, e fontana a compressione* — All' oggetto di aumentare in uno spazio limitato la massa e la pressione dell'aria si usa la macchina a compressione. Questa ha uno, e talvolta due corpi di tromba come diremo della macchina pneumatica ordinaria. In ciascuno di essi un' apertura al fondo è tenuta chiusa dalla valvula conica A (Tav. I fig. 3.) a verga quando lo stantuffo sale, ed allora apresi la valvula B nello stantuffo, per cui si empie di aria atmosferica il corpo di tromba. Viceversa quando lo stantuffo discende aperta la valvula in A e chiusa l'altra in B passa l'aria dal corpo di tromba col mezzo del condotto AC nel recipiente ove proponesi di condensar l'aria. Vi entra in ciascuna corsa dello stantuffo un volume d'aria eguale alla capacità del corpo di tromba, e solo avrà limite il giuoco quando l' aria condensata sotto lo stantuffo non acquisterà forza di aprire la valvula A. Un manometro F (*Int.* 48) che comunica col condotto AC potrà indicare il grado a cui si è condensata l' aria nel recipiente che è avvitato alla estremità del condotto, o fortemente tenuto adeso al piatto in cui và a terminare quella estremità.

Poniamo che sia avvitato alla macchina un recipiente ben resistente CE la cui apertura rimane all' estremità del tubo CD, insinuato fino prossimo al fondo, e che esista dell'acqua per tutto il volume EF. Questa è la fontana a compressione: in C è una chiave ed al fondo è un foro chiuso a vite per il quale si pone l'acqua nel vaso. Dopo di avervi compressa assai aria, chiusa la chiave C, può svitarsi la fontana dalla macchina; e tenuta la bocca C volta in alto vi si porrà un' aggiunta a piccoli fori, e si aprirà la chiave. Allora l'acqua esce con getto in alto a molta altezza per la forza dell' aria compressa.

Posson farsi molte altre applicazioni della forza motrice proveniente dall'aria compressa, e si è anche pensato di usarla nelle macchine locomotive in luogo di quella del vapore. Il sig. Arnot ha pensato che potrebbonsi porre lungo la strada dei serbatoi ad aria compressa, e dall'uno di

questi prendendo la locomotiva come una fiatata d'aria appena vi giunge, acquisterebbe forza per arrivare al serbatojo successivo.

In generale, allorchè riflettasi che l'aria si trova ovunque, che condensata mantiene la sua forza per tempo indefinito, e che la forza irregolare delle acque nei torrenti che scendono dall'alto del monte sulla pianura varrebbe a condensarla, nasce l'idea che il motore più universale, disponibile a piacimento, e meno costoso dovrebbe essere l'aria compressa. Gran difficoltà è però avere recipienti che tengano l'aria compressa, e siano per grandezza e leggerezza adattati.

5. *Macchina pneumatica.* Sull'attitudine che ha l'aria ad espandersi quando se ne aumenta il suo volume è fondata l'azione di questa macchina destinata a rarefar l'aria racchiusa nei recipienti, o a fare in questi il vuoto boileiano. Col mezzo di essa vediamo estesa la legge dell'elasticità dell'aria anche al di sotto della pressione di un'atmosfera.

Il condotto della macchina va a terminare al centro del piatto AB coperto di cristallo bene spianato. Sul piatto ponesi il recipiente o campana di cristallo dalla quale vuolsi estrar l'aria, munita di bordo arrotato ed ingrassato per assicurarne meglio il contatto. Il condotto percorrendo dal piatto alla macchina ponesi al punto C in comunicazione col provino CD, cioè collo strumento che mostra il grado ottenuto nella rarefazione. Tanto il piatto che il provino sono muniti di un rubinetto che toglie all'occorrenza la comunicazione: ed anche lo ha la macchina in E. Questo rubinetto ha doppio foro nel maschio, cioè con un foro diretto pone in comunicazione il piatto colla macchina, e con un foro ricurvo a squadra si può porre in comunicazione il recipiente o le trombe con l'aria atmosferica secondochè si vuole, dopo aver fatta l'esperienza, restituir l'aria nel recipiente, ovvero si vuol mantenere in quello il vuoto, e restituir l'aria ai corpi di tromba. Ho disegnato un cilindro P intero ed uno Q spaccato onde si veda anche l'interno dello stantuffo e delle valvule. Ambedue questi sono vere trombe aspiranti, e quando si alza il loro stantuffo si fa sotto di questo un vuoto, si apre la valvula a cono che è al loro fondo, e si chiude l'altra valvula che sta nel centro dello stantuffo. L'aria del recipiente messa in comunicazione col corpo di tromba si espande e viene a rarefarsi nella proporzione che è tra il volume V del recipiente, e quello di esso unito al volume V' del corpo di tromba cioè rimane nel recipiente la frazione di densità $\frac{V}{V+V'}$

Allorchè abbassasi lo stantuffo vien chiusa la valvula al fondo del corpo di tromba, e l'aria compressa entro a questo apre la valvula dello stantuffo che è ritenuta da una sottil molla in filo d'ottone, e si mescola nell'atmosfera. Ogni volta che si alza lo stantuffo in un cilindro rimane la notata frazione di densità dell'aria restata nella precedente alzata cosicchè dopo *n* operazioni rimarrà

$$\left(\frac{V}{V+V'}\right)^n$$

Mentre in un cilindro lo stantuffo si abbassa alzasi nell'altro, poichè con una medesima leva FG si alza la verga di uno stantuffo e si abbassa quella dell'altro mediante una ruota dentata come mostra la figura. Lo che permette che si equilibrino fra di loro le pressioni esercitate dall'atmosfera sù due stantuffi. Merita di

esser considerata la struttura dello stantuffo, formato da un gran numero di rotelle di cuoio tornite, e pressate insieme e spinte in fuori dal cono in cui è formata la parte inferiore dello stantuffo che si avvita in quella superiore. L' incavo interno è occupato dal meccanismo della valvula, e solo rimane un piccolissimo foro nel fondo, dalla piccolezza del quale, e dall'esser ben combaciante il fondo dello stantuffo col fondo del corpo di tromba, dipende una gran parte del buon' effetto della macchina. Poichè l' aria che può alloggiarsi nella cavità che resta fra questi due fondi deve acquistare elasticità superiore a quella dell'atmosfera e della molla della valvula, onde questa possa aprirsi e continui il gioco della macchina. La valvula conica che è al fondo del cilindro si apre, per spingere più oltre questo gioco, non dall'aria del recipiente, dal movimento dello stantuffo: l'asse che è a questa attraversa i cuoi dello stantuffo e per il fregamento con queste è sollevato per poca altezza essendo limitata la corsa da un cappelletto che rimane alla sua sommità, ed urta nel coperchio dei cilindri analogamente a quello che vedesi nella macchina a condensazione.

Il Babinet ha portata una mutazione nella macchina, ad oggetto di spingere più oltre il limite della sua azione, e questa consiste in un rubinetto *p* collocato tra i due cilindri per il quale ponesi l' un cilindro in comunicazione col secondo per mezzo del condotto *o* (Tav. I. fig. 5), mentre si toglie di comunicazione col recipiente: così l' aria che si comprime sotto allo stantuffo, e che deve aprire la valvula è in maggior copia. Il vanaggio che ne viene è però scemato dalle maggiori cavità che devono essere al fondo dei cilindri.

Non trascurerò di rammentare il provino D formato da un tubo ricurvo chiuso ad un' estremità e aperto dall' altra sostenuto da una montatura metallica sotto una campanetta di cristallo, il quale ripieno di mercurio nella parte chiusa e nella curva inferiore, ed espulsavi del tutto l'aria coll' ebullizione del mercurio, serve a misurare l' elasticità dell' aria che viene rarefatta. Per conoscere quanta aria rimane, notasi di quanti millimetri è più sollevata la colonna di mercurio nella parte chiusa che nell' aperta: se fosse per esempio 8^{mm} si direbbe che rimane $^{8}/_{760} = ^{1}/_{95}$ dell' aria che vi era prima.

6. *Strada atmosferica a rotaje* — La pressione atmosferica che si fa sentire sulla parete del recipiente ove si è fatto il vuoto, e che può quando questa sia mobile cacciarla nello spazio del vuoto boileiano, è stata usata per muovere i vagoni sulle strade a rotaje. Sù questo principio riposa la locomozione sulle strade ferrate imaginata da Clegg e che può esser particolarmente seguita nelle salite. Immense macchine pneumatiche si pongono, alla sommità della salita, in azione con macchine a vapore (Tav. I. fig. 6.): vedesi il taglio di una di queste ove la tromba è aspirante a doppio effetto, cioè lo stantuffo nel muoversi aspira l'aria da una parte e caccia nell'atmosfera l' aria dall' altra parte; viceversa nel ritornare indietro da questa parte aspira, e dalla prima caccia via l'aria. I due condotti AA sono in comunicazione con un tubo stabilito lungo tutto il terreno stradale tra le due rotaje da dove levasi l'aria. Uno stantuffo che è in questo è spinto verso la parte ove vien fatto il vuoto.,

ed essendo esso unito al primo vagone trasporta seco il treno. Onde il primo vagone possa rimanere unito allo stantuffo è duopo che il tubo presenti un'apertura longitudinale lungo la quale percorra il pezzo di congiunzione col vagone; come è pur necessario che una tale apertura sia ben chiusa in quella parte del tubo ove si fa il vuoto. Quindi (Tav. I. fig. 6) si ha in tutta la lunghezza del tubo una valvula composta di una striscia di cuoio fissata ad un lembo dell'apertura, e guarnita di strette strisciole metalliche che le danno stabilità e peso, e le lasciano una certa flessibilità. Questa d'ordinario si applica tra i due lembi dell'apertura, e la chiude completamente, ed è sollevata successivamente nelle diverse parti della sua lunghezza a misura che lo stantuffo si avanza nel tubo trasportando il treno, per lasciar passare il pezzo che lega li primo vagone con lo stantuffo. Questo pezzo è assai composto, porta in A il vero stantuffo guarnito di cuoio perchè chiuda bene, ed un secondo stantuffo in B avanti al primo è destinato a supplirlo al bisogno, l'asse metallico comune a questi due è fissato ad una cassa lunga e stretta CC, verso il mezzo della quale sta unita una lastra di ferro che ricurvandosi per passare attorno al bordo della valvula esce fuori dal tubo e serve d'unione col vagone. All'estremità posteriore della cassa CC è unito un pezzo di ferro fuso E destinato a far contrappeso agli stantuffi A, B, onde il centro di gravità del sistema rimanga presso a poco al mezzo della lastra D. La cassa CC porta due pezzi F, F che devono sollevare la valvula longitudinale del tubo, e porta gli assi di cinque girelle, che girano sulla faccia interna della valvula per tenerla alla altezza non solo conveniente a far passare la lastra D, quant'anche a lasciar rientrar l'aria a misura che lo stantuffo si avanza nel tubo. Ad evitare il troppo grande attrito sono articolati gli stantuffi A, B da poterli presentare obliqui all'asse del tubo col mezzo di alcune verghe che fan capo alla lastra D

Si è anche fatto il tubo serrato senza valvula, usando un grande stantuffo di ferro, il quale tira potenti calamite poste all'esterno, e con esse il primo vagone che è a loro fissato.

7. *Legge del Volta* — Per questa notevolissima legge si stabilisce che tenuta costante la tensione di un fluido elastico, e fatta variare la sua temperatura, subisca esso aumenti di volume proporzionali agli aumenti di temperatura, ed il coefficiente di dilatazione dalle recenti scoperte è fissato per l'aria a 0,00367 per ogni grado del termometro centigrado. Talmente chè il volume di un metro cubico a zero, si ridurrà a un metro e 0,00367 t di metro sotto la temperatura t, e scemerà del pari la densità. Che se questa non possa scemare per esser determinato il volume del gaz dal vaso che lo racchiude, si avrà per l'inalzamento di temperatura, l'aumento di elasticità, come se si fosse accresciuta la densità di 0,00367 t.

Il Volta colle sue esperienze confermò i risultamenti di Lambert e di Luz, tolse i dubbi sparsi da altri sperimentatori, e fissò il coefficiente di dilatazione dell'aria a 0,00370. E sebbene con belle ricerche il Gaylussac estendesse la legge agli altri gas, e al vapore dell'etere solforico, e ne trovasse il detto coefficiente per tutti in 0,00375; e sebbene Dalton confermasse quella legge pel vapore acqueo, e Deulong con Petit la trovassero eguale anche a temperature su-

periori a quella di 100°; contuttociò Rudberg ha potuto far conoscere che era troppo grande il coefficiente di dilatazione stabilito da Gaylussac, e dopo con un diligente lavoro Regnault ha conosciuto che neppure per tutti i fluidi è eguale precisamente la dilatazione, e solo può, trascurata una minima differenza, come tale ritenersi in quei fluidi che hanno un perfetto stato gasoso. Per i quali è da adottersi il coefficiente di dilatazione sopra riportato, ovvero $^{11}/_{3000}$. Per i fluidi elastici composti, e per quelli che son prossimi alla mutazione di stato, ritrovò egli un coefficiente molto più grande, e per l'acido solforoso di 0,00390. Onde io credo non andar lungi dal vero, mentre semplicizzo per la pratica la formula, coll'adottare pel vapor d'acqua il coefficiente 0,004. Neppure a differenti pressioni trovò il Regneault essere costante il coefficiente, e l'idrogeno che può aversi per il gas più permanente ha comune coll'aria atmosferica il coefficiente sotto la pressione ordinaria, ma sotto pressioni tre o quattro volte maggiori l'aria si mostra più dilatabile di questo (*Ist.* 49)

8. *Peso di un fluido aeriforme* — Sia m il coefficiente di dilatazione del fluido, p la pressione barometrica, t la temperatura: l'unità di volume a zero gradi alla temperatura t si riduce $1 + mt$, e la densità da 1 si riduce

$$\frac{1}{1 + mt}$$

Rappresentato con π_1 il peso specifico a zero gradi, e sotto la pressione $0,^{m}76$ sarà il peso specifico sotto la pressione p, e alla temperatura t, espresso da

$$\pi_1 \frac{p}{0,^{m}76} \cdot \frac{1}{1 + mt} = \frac{\pi_1 p}{0,76 (1 + mt)}$$

Per l'aria secca si ha $m = 0,00367$ e può aumentarsi fino a $m = 0,004$ per l'aria ordinaria avendo riguardo al vapor d'acqua che vi esiste, il quale è più leggero dell'aria, e il suo peso, che a 0° sotto la pressione ordinaria è $\pi_1 = 1,300$, diventerà per un metro cubo

$$\frac{1,300 . p}{0,76 (1 + 0,004 t)} = \frac{1,^{k}709 . p}{1 + 0,004 t}$$

Per 10° C e sotto la pressione $0,^{m}76$ il peso di un metro cubo di aria è

$$\frac{1,300}{1,04} = 1,^{k}249$$

cioè 800 volte minore del peso di un metro cubo di acqua che è 1000^{k}.

Il più delle volte ricercasi il peso π' di un fluido alla temperatura t' e sotto la pressione p', a confronto del peso π dello stesso fluido alla temperatura t, e sotto la pressione p. Abbiamo per quello che si è detto

$$\pi = \frac{\pi_1 p}{0,76 (1 + mt)} \quad \pi' = \frac{\pi_1 p'}{0,76 (1 + mt')}$$

e perciò

$$\pi : \pi' :: \frac{p}{1 + mt} : \frac{p'}{1 + mt'}$$

d'onde deduciamo

$$\pi = \pi' \frac{p (1 + mt')}{p' (1 + mt)}$$

Leggi del calorico nel vapor d'acqua e nei gas.

9. *Maximum di densità o saturazione dei vapori.* — In generale la forza espansiva del vapore va soggetta per la temperatura e per la espansione o condensazione alla stessa legge di quella dei gas, semprechè però la quantità di vapore rimanga la medesima non passandone punto alla liquidità, nè punto di nuovo formandosene. Onde differiscono i vapori dai gas solo quando può accadere o una liquefazione, o una evaporazione, ed avviene la prima ogni qual volta in un determinato spazio trovasi per una data tempe-

ratura a per una data pressione il vapore al maximum di densità, e si aggiunge nuova pressione, ovvero si scema la temperatura. Avviene poi la evaporazione ogni qual volta, essendovi nello spazio liquido da evaporarsi e trovandosi il vapore al maximum di densità, si accresca la temperatura, e si permette che si aumenti lo spazio diminuendo la pressione, ovvero ogni qual volta non trovasi il vapore al maximum di densità. Il maximum di densità è dunque sempre determinato per una data temperatura o per un dato spazio: così per esempio: in una capacità di un metro cubo non può contenersi più di 29,19 grammi di vapore acqueo alla temperatura di 30°, sia che vi si introduca il vapore già formato, o che vi si lasci in qualunque quantità dell'acqua la quale abbia ad evaporare. Vi se ne potrà contenere in minor quantità, se ve ne introduciamo di meno, e se minore sia il peso dell'acqua che evapora. Nel primo caso sarà il vapore al maximum di densità, e nel secondo al di sotto del maximum di densità, ed ubbidirà alle leggi stabilite per i gas. In uno spazio adunque indefinito limiterà la evaporazione la sola atmosfera che si è formata sopra il liquido, e gli ostacoli che si oppongono a quell'atmosfera per dilatarsi e per estendersi.

Se il recipiente del vapore sia in una parte a più elevata temperatura che in un'altra, accaderà che nella parte più calda il vapore si dilaterà di più e si addenserà in vicinanza di quella più fredda mantenendo però in tutti i punti della massa egual tensione. E posto che la successiva introduzione del vapore tenda a portare la densità e la tensione al maximum nella parte più calda si avrà riduzione in liquido nella parte più fredda, e tranne le differenze dovute al disequilibrio per mancanza di tempo, la massa di vapore avrà nei diversi punti un'ineguale densità, ed una egual tensione; e la densità sarà al maximum nella parte più fredda, e la tensione ovunque corrisponderà a quel maximum di densità. Sia per es.° in una parte il vaso alla temperatura 40° e nell'altra alla temperatura 30°, in quest'ultima massa di vapore acqueo equilibrato si avrà la densità del vapore 0,00002919 rispetto a quella dell'acqua, che è il maximum come si è detto sopra, e la tensione che ha il fluido in tutto lo spazio sarà la sua corrispondente di 0,m0418 per ogni centimetro quadro: nell'altra parte calda il vapore sarà espanso per quanto conviene a dieci gradi di temperatura, cioè la sua densità si otterrà dal dividere la precedente per il volume accresciuto (8) dall'aumento di temperatura, cioè

$$\frac{0,00002919}{1+0,004.10^{\circ}} = 0,00002807$$

10. *Mescolanza dei gas, e umidità nell'aria* — Ogni gas ha un equilibrio indipendente, quando si trovano più gas mescolati senza reciproca azione chimica: così un gas più pesante non sta in basso, ma si eleva mescolandosi col gas più leggero, e viceversa. E se accade che in qualche luogo il gas acido carbonico si trovi in maggior copia negli strati bassi, proviene dal non aver dato tempo a diffondersi. La pressione sopra i corpi, o elasticità dei gas mescolati, resulta dalla somma delle elasticità dei gas separati.

Nell'aria atmosferica sta con tal legge il vapor dell'acqua. E nella temperature più alta di — 25° si ha vapore sempre, e la umidità non è proporzionale alla quantità di vapo-

re, ma sta in ragione inversa della tensione che ad esso manca per giungere alla saturazione. Quindi si ha d'ordinario nell'estate più vapore che nell'inverno, e meno umidità. Giacchè al maximum della sua densità tanto nell'aria quanto nel vuoto, esiste per ogni metro cubo il medesimo peso di vapore, ed una stessa tensione, e sono quelli qui notati

Temperatura	*Peso*	*Tensione*
0°	5,gr50	5,mm08
10	9,66	9,48
20	17,02	17,28
30	29,19	30,65

11. ***Relazione tra la temperatura e la tensione nel vapor d'acqua***— È essenziale avvertire che i vapori a differenza dei gas, o fluidi elastici permanenti, si trovano quasi sempre al maximum di densità, nè possono comprimersi senza che una porzione se ne riduca in liquido. Allora dunque la loro densità ed anche l'elasticità non varia più colla pressione, ma solo colla temperatura: cresce la densità, e cresce parimente l'elasticità o tensione all'aumentarsi della temperatura con una certa legge.

Ciò accade principalmente nelle caldaje ove si genera il vapor d'acqua, giacchè essendo libera la evaporazione dell'acqua che è in abbondanza, fintantochè non è pieno lo spazio di vapore seguita a svolgersene, e così il vapore acqueo perviene al maximum di densità che li conviene per la temperatura a cui ritrovasi: la densità dunque del vapor d'acqua dipende dalla temperatura, ed è a questa collegata per modo che la sola esperienza potrà far conoscere quale sia quella sotto diverse temperature. Mostrò Dalton le prime leggi che legavano la temperatura alla tension del vapore per le prime atmosfere di tensione. Gay-Lussac le estese per le bassissime temperature, ed in seguito Dulong e Arago le ampliarono fino ad elevatissime temperature. I matematici si dieder cura di esprimere queste leggi in formule, e molte ne furon messe in luce che più o meno sodisfacevano. Merita per la sua semplicità di esser riferita quella dei signori Dulong e Arago, la quale è

$$t = \frac{\sqrt[5]{P} - 1}{0{,}7153}$$

t indicando la temperatura oltre cento gradi, e prendendo per unità 100° centigradi; P essendo il numero delle atmosfere. Questa formula però non rappresenta la legge al di sotto di quattro atmosfere, e gli autori pensano che possa ben darla fin anche a 50 atmosfere. Fu dal Professor Mossotti ritrovata una formula che può dirsi ben capace a dar la legge dalle più basse temperature fino alle più alte, a cui è stato sperimentato, ed anche a quelle altissime corrispondenti a 50 atmosfere, essendo in queste quasi d'accordo con quella di Dulong, ed è la seguente

$$\frac{1+0{,}575t}{1{,}575} = P^{0{,}07677+0{,}0092\log P+0{,}00158\log^2 P}$$

Qui pure P indica il numero delle atmosfere, ciascuna corrispondente alla pressione di 76 centimetri di mercurio, ma t rappresenta i gradi di temperatura cominciando da zero, e ritenendo per unità 100°. Sempre le temperature son date in termometro ad aria. Onde meglio si apprezzi la legge che unisce la temperatura del vapor d'acqua alla sua tensione, e il grado di precisione a rappresentarla nelle indicate formule, riporterò qui i resultati delle esperienze a confronto con quelli dati dalle formule

Esperimentatori	*Tensioni osservate in centim. di mercurio*	*Tensioni espresse in atmosfere di* $0^m,76$	*Temperatura osservata in gradi centigradi*	*Temperat. data dalla form. di Dulong e di Arago*	*Temperat. data dalla formula del Mossotti*
Gay-Lussac. . .	0,1353	0,00178	— 19°,5	— 0,°39	— 18°,89
Dalton	0,5050	0,00668	0,0	11,55	+ 0,40
"	2,3114	0,03041	25,02	29,72	24,52
"	8,8900	0,11100	50,04	51,22	49,40
"	28,5750	0,37598	75,06	75,16	74,69
"	76	1	100	100	100
Dulong e Arago	162,916	2,1436	123,7	122,97	123,04
"	218,17	2,8704	133,3	132,9	132,80
"	347,59	4,5735	149,7	149,77	149,60
"	493,83	6,4976	163,4	165,47	165,33
"	560,54	7,3756	168,5	168,7	168,56
"	884,00	11,632	188,5	188,6	188,54
"	1306,10	17,185	206,8	207,2	207,28
"	1313,70	17,286	207,4	207,5	207,57
"	1406,30	18,505	210,5	210,8	211,02
"	1638,16	21,554	218,4	218,5	218,93
"	1818,94	23,934	224,15	224,02	224,50
"		30		236,2	237,06
"		40		252,5	253,9
"		50		265,9	267,9

12. *Relazione tra le densità o gravità specifiche dei vapori, ed i loro volumi relativi ed assoluti* — Molte volte la densità, o la gravità specifica dei gaz si determina prendendo per unità quella dell'aria, ma qui trattandosi del vapor d'acqua intendiamo che l'unità sia quella dell'acqua; così la gravità specifica G di un vapore, che è il rapporto tra il suo peso P e il suo volume V, riterremo che sia il rapporto tra il volume v dell'acqua da cui si è prodotto, e il volume suo V; cioè

$$G = \frac{P}{V} = \frac{v}{V}.$$

Il rapporto $\frac{V}{v}$ si dice anche volume relativo perchè è il volume che acquista il vapore relativamente a quello dell'acqua che lo ha prodotto, ed io lo indicherò con V_1. In due vapori che han differente tensione le gravità specifiche, le loro densità, o i loro pesi sono in ragione inversa dei loro volumi relativi; cioè

$$G : G' :: \frac{v}{V} : \frac{v}{V'}$$

E poichè $\frac{v}{V} : \frac{v}{V'} :: V' : V :: V_1' : V_1$

possiamo anche stabilire che le densità stanno anche in ragione inversa dei volumi assoluti, e che i volumi assoluti dei vapori ottenuti dallo

stesso peso d'acqua han fra di loro lo stesso rapporto dei volumi relativi.

13. *Peso dei vapori in contatto de' liquidi e separati da essi, a loro volumi relativi* — Quando il vapore è in contatto col liquido che lo ha generato la sua tensione è necessariamente, come si è veduto, legata alla sua temperatura: e colla temperatura è del pari legata la sua densità, giacchè è la più grande che possono tenere sotto quella temperatura. Questa densità si deduce dal volume relativo che acquista il vapore: ora i volumi relativi stanno nel rapporto inverso dei loro pesi, perciò sarà $\pi : \pi' :: V'_1 : V_1$; ma

$$\pi = \frac{\pi' p (1 + mt')}{p' (1 + mt)}$$

perciò

$$V_1 = V'_1 \frac{p' (1 + mt)}{p (1 + mt')}$$

Nel vapor d' acqua il coefficiente di dilatazione è $m = 0,004$. Sappiamo per esperienza che a 0° di temperatura e sotto la pressione atmosferica, cioè di $1,^k 033$, il metro cubo di vapore pesa $0^k,81$. Se dunque si fa $t' = 0$, $p' = 1,^k 033$, $\pi' = 0,81$ ottiensi

$$\pi = \frac{0,81 . p}{1,033 (1 + 0,004 t)} = \frac{0,7841 . p}{1 + 0,004 t}$$

Se in questa formula ponesi

$$p = 1,033, \ t = 100$$

si ha che all'ebullizione il vapor d'acqua che può stare in un metro cubo pesa $0^k,57857$, ovvero $^1/_{1765}$ di quello dell' acqua; cioè un metro cubo di acqua può formare circa 1700 metri cubi di vapore a 100°. Poste pertanto $V'_1 = 1700$, $t' = 100$ abbiamo

$$V_1 = 1700 \frac{1,033 (1 + 0,004 t)}{p (1 + 0,004 . 100)}$$

$$= 1254 \frac{1 + 0,004 t}{p}$$

cioè il volume del vapore sotto una data pressione e una data temperatura confrontato a quello dell'acqua che lo ha prodotto.

14. *Peso, e volume relativo del vapor d'acqua al maximum di densità* — Per mezzo della formula del Mossotti (11) si avranno le temperature corrispondenti alle pressioni del vapore, e sostituite queste nelle formule surriferite si otterrà corrispondentemente a quelle il volume relativo, e il peso per ogni metro cubo del vapore, come qui vedesi

Pressioni in kil. per cent. quadro	*Temperatura corrispond. in gradi centigradi*	*Volume relativo del vapore*	*Peso per ogni metro cubo*
1	99,20	1751,49	0,5614
1,5	110,90	1140,24	0,8147
2	120,00	927,96	1,060
2,5	127,04	756,49	1,299
3	133,22	660,74	1,528
3,5	138,59	560,78	1,766
4	143,41	503 32	1,995
4,5	147,76	443,36	2,218
5	151,71	403,00	2,439
5,5	155,42	369,74	2,650
6	158,87	341,81	2,876
6,5	162,07	317,99	3,092
7	165,08	297,44	3,306
7,5	167,93	279,48	3,518
8	170,63	263,71	3,728
8,5	173,21	249,75	3,937
9	175,66	237,25	4,145
9,5	178,01	22[illegible],99	4,351
10	180,26	215,92	4,556

Potrebbesi per determinare i volumi relativi o i pesi dalle pressioni con una sola formula eliminare tra quelle la temperatura.

15. *Del calore che esiste nel vapore acqueo.* — Adotteremo per unità di calorico quella quantità che occorre per portare un kil. di acqua da zero gradi ad un grado, conforme ha stabilito il Clement, e rifletteremo

mo che quando l'acqua ha acquistata la temperatura dell' ebullizione cioè 100° tutto il calorico che le si somministra convertesi in calorico latente nel vapore che si genera. Ora è provato dalle esperienze di Watt, e più esattamente da quelle di Sharpe e Clement che la quantità di calorico latente contenuto nel vapore a contatto col liquido è tanto più piccola, quanto la temperatura del vapore divien maggiore, per modo che il calorico totale, cioè la somma del calorico latente più il calorico indicato dal termometro, formano in tutti i casi una quantità costante rappresentata da 650 gradi del termometro centigrado; Southern però da alcune esperienze ha dedotto, che rimane costante la sola porzione di calorico latente, e che per ottenere tutto il calorico contenuto nel vapore, bisogna al calorico latente aggiungere quello della temperatura sotto la quale si è formato il vapore. Noi seguendo il Pambour riterremo la prima dottrina, giacchè molte esperienze eseguite sulle macchine a vapore han provato che il vapore separato dal liquido, è dilatato per l' azione della macchina, quando anche sia garantito dalle perdite di calorico, conserva sempre il maximum di densità corrispondente alla tensione ed alla temperatura che acquista; e giacchè non molto si allontanano da quella semplicissima legge i resultati delle recenti esperienze del sig. Regnault. Vero è che stando a questa dottrina il vapore a 650° di temperatura a contatto col liquido non conterrà calorico latente, ed inoltre avrà per densità quella dell'acqua, senza di che si potrebbe aver del vapore con quantità negativa di calorico latente a temperature più alte di 650°. Concludiamo adunque

1.° Che indicata con t la temperatura del vapore saranno per ogni kil. di vapore contenute 650 unità di calorico, ed il solo calorico latente sarà $650 - t$;

2.° Che quando in una caldaja si è generato il vapore ad una certa temperatura, per il fuoco sottoposto, e si seguita l'azione del fuoco, siccome ottiensi vapore sempre al maximum di densità, e di temperatura maggiore, e di maggior tensione; le unità di calorico che si danno alla massa di vapore impiegansi tutte per la nuova quantità di vapore che si forma per accrescerne la densità in quel determinato spazio. Un kil. d'acqua alla temperatura t' si ridurrà in vapore con $650 - t'$ unità di calorico.

3.° Se occorra con maggior precisione conoscere la quantità di calore che esiste in un dato vapore acqueo potran consultarsi i resultati sperimentali del sig. Regnault che con assai esattezza sono rappresentati dalla formula $607 + 0,3.\ t$ la quale tutta indica il calor totale contenuto in un kil. di vapore acqueo al maximum di densità, t è la temperatura che esso ha. E $607 + 0,3\ t - t = 607 - 0,7\ t$ è il calor latente.

10. *Peso dell' acqua fredda che occorre a condensare il vapore.* — Sia t'' la temperatura dell'acqua che si adopra, t' la temperatura alla quale vuole abbassarsi quella di un kil. di vapore, che nel suo stato di saturazione si trova alla temperatura di t gradi. Sia π' il peso in kil. dell'acqua fredda, e π il peso del vapore. Sarà 650 il numero delle unità di calorico contenute in un kil. di vapore, e $\pi' t''$ quelle contenute dall'acqua d' iniezione, e la mescolanza ne conterrà $650 + \pi' t''$. Il peso della mescolanza ridotta in acqua è $1 + \pi'$, e deve avere la temperatura t'

per cui essa conterrà $(1+\pi')t'$ unità di calorico. Per conseguenza avremo

$$650 + \pi' t'' = (1+\pi')t'$$

cioè l'acqua occorrente a condensare un kil. di vapore sarà

$$\pi' = \frac{650 - t'}{t' - t''}$$

ed il peso dell'acqua fredda, che occorre per condensare tutto il vapore sarà

$$\pi \frac{650 - t'}{t' - t''}$$

cioè l'acqua che occorre a condensare il vapore in apparenza è indipendente dalla temperatura del vapore stesso non però in sostanza giacchè nel peso del vapore è inclusa la sua temperatura (13).

Volendo adottare i resultati di Regnault in luogo di 650 converrà porre 607 + 0,3t, e questo può farsi anche nelle seguenti formule (14. 3°).

17. ***Peso del combustibile che occorre a formare una certa quantità di vapore*** — Ancor qui dobbiamo premettere alcune nozioni. Per fondere un Kil. di ghiaccio a zero gradi occorre un kil. di acqua a 75° (1), e volendo avere le unità di calorico che si impiegano in qualche processo, o quelle che si sviluppano nella combustione, potrà nel calorimetro prodursi la fusione del ghiaccio, e dovrassi moltiplicare per 75 il numero de' kil. di ghiaccio fuso che si ottengono. Con tal modo sono stati determinati i numeri che noteremo. Nella combustione i legni non danno che circa la metà del calorico che si ottiene dal carbone di legna e dal carbon fossile, cioè circa 3000 unità per kil., mentre il carbone ne dà circa sei in sette mila. E nelle combustioni ordinarie non si realizza che la metà di quel calorico che si raccoglie nel calorimetro.

Sia π il peso dell'acqua che vuolsi ridurre in vapore, e t' la sua temperatura, sarà $\pi t'$ il numero delle unità che contiene, e siccome il vapore ne conterrà 650. π, conviene che per la conversione dell'acqua in vapore si abbiano π (650 — t') unità di calorico, le quali provengono da un peso di combustibile

in legna $\frac{\pi}{1500}$ (650 — t')

e in carbone $\frac{\pi}{300}$ (650 — t')

Per un calcolo approssimativo riterremo che ad ogni cinque kil. di vapore occorre un kil. di carbon fossile, e due di legna.

18. ***Effetto del calorico sull'aria e altri fluidi*** — Della dilatazione abbiamo abbastanza parlato (7). Sulla mutazione di stato noterò che il gas acido carbonico si riduce liquido sotto pressione di 20 atm. alla temperatura —11°. Anche il gas acido solforoso è stato ridotto allo stato liquido con due atm. di pressione: il gas cloro si fa liquido a - 4°,44: il gas ammoniacale a - 43°. Riporterò qui le seguenti formule che da questi, e da molti altri resultati sperimentali ho potuto dedurre, analogamente a quella stabilita da Arago e Dulong (11) per il vapore d'acqua. Tra le quali servirà utilmente quella del gas acido carbonico per indicare non solo la sua temperatura al maximum di tensione, ma anche la forza che fa l'acido carbonico liquido contro le pareti dei recipienti.

Gas ammoniaco 0,9. $t = \sqrt[5]{P} - 1,38$

Gas muriatico . 3,8. $t = \sqrt[5]{P} - 1,78$

Gas acido carb. 1,3. $t = \sqrt[5]{P} - 2,05$

Ossido nitroso . 0,9. $t = \sqrt[5]{P} - 2,13$

Cloro . . . . . 1,6. $t = \sqrt[5]{P} - 1,71$

La capacità dell'aria per il calorico la quale si determina nell'unità di peso è 0,27 di quella dell'acqua, per cui un'unità di calorico potrà alzare di un grado la temperatura di circa quattro kil. d'aria.

Distinte (1) nelle dottrine dei gas due sorta di calorico specifico; quello che è necessario per produrre un cambiamento di temperatura quando varia solamente il volume o la densità, chiamato calorico specifico sotto pressione invariabile; e quello che produce un cambiamento di temperatura quando varia la forza elastica, cui si dà il nome di calorico specifico a volume invariabile. Questi due calorici specifici coerentemente al resultato di alcune esperienze hanno l'uno all'altro un rapporto costante. E si è trovato essere

Per l'aria atmosferica . . 1,421 : 1
Per il gas ossigene. . . . . 1,415 : 1
Per il gas idrogene . . . . 1,407 : 1
Per l'acido carbonico . . . 1,338 : 1
Per l'ossido di carbonio . 1,428 : 1
Per il protossido d'azoto . 1,343 : 1
Per il gas oleifico . . . . . 1,240 : 1

Presso a poco tutti i gas hanno fra loro eguale calorico specifico a volume eguale (1), ed anche a pressione eguale; non però ad egual peso hanno egual capacità di calorico perchè l'idrogene ne ha dodici volte più dell'aria atmosferica, e il vapore d'acqua circa tre volte di più.

Per quanto degli effetti chimici non sia nostro scopo discorrere, e perciò neppure della combinazione dei gas ad elevate temperature, e delle particolarità della fiamma, pure non posso tacere di alcuni fatti che dan luogo ad apparati assai interessanti.

19. *Cannello ferruminatorio. Accendi lume a platino spugnoso. Lucerna di sicurezza del Davy.* — Il cannello ferruminatorio o dardifiamma di cui valgonsi i chimici, i gioiellieri, e gli smaltatori, consiste in un tubo ricurvo verso l'estremità ove si fa più sottile, ed ove è munito di una capocchia nella quale prosegue l'apertura in sottilissimo foro. Con esso dirigesi una corrente di vento entro la fiamma di una candela o di una lucerna, aumentandole la forza calorifica perchè le si dirige il gas ossigene nel centro ove ne era mancante. Il tavolino da smaltatore parte da questo stesso principio, e solo differisce per spingere con un mantice mosso dal piede e non con la bocca la corrente d'aria. Questa deve cadere sulla fiamma a poca distanza dal lucignolo, e ne forma un dardo quasi orizzontale meno luminoso e più calorifico. È manifesto che l'ossigene puro alimenta ben più efficacemente la fiamma, la quale se è di gas idrogene può anche fondere il platino e la silice.

Il platino dotato di porosità e che dicesi spugnoso, il quale si prepara riscaldando fino all'incandescenza il precipitato di platino ottenuto per mezzo dell'idroclorato d'ammoniaca, favorisce con la sua azione molecolare moltissimo l'affinità tra l'idrogene e l'ossigene. Per questa cagione si fanno accendi-lume a platino spugnoso (Tav. II. fig. 1.). Essi consistono in una campanella A di cristallo ove pende dall'alto un pezzo di zinco: questa sta capovolta in altro vaso ripieno d'acqua acidulata con acido solforico, ed è forata alla parte superiore da dove per mezzo di un rubinetto può fare escire da un sottil foro il gas idrogene del quale è ripiena. La corrente del gas batte contro il platino spugnoso, sostenuto al centro di piccola rete in sottil filo di platino, lo fa incandescente, e ne resta acceso il gas. A misura

che questo esce dalla campanetta sollevandovisi in sua vece l'acqua acidulata, ne resta attaccato lo zinco, e si riforma nuovo gas idrogene.

Perchè la fiamma si produca e si mantenga è necessario che concorra col combustibile il calore e l'ossigene. Posta una rete metallica assai fitta contro una fiamma ne limita l'estensione per modo che si vede luminosa solo fino alla rete e non all'altra parte seppure la rete non si fa incandescente. Abbassa la rete colla sua conducibilità pel calorico la temperatura, ed impedisce che la combustione si propaghi da una all'altra parte della rete. Quindi imaginò il Davy la sua lampada utilissima per preservare dalle esplosioni i minatori. Descriverò quella perfezionata dal Combes (Tav. II. fig. 2.). In A sta il serbatojo dell'olio, che è attraversato da due tubetti per i quali passano quasi giustamente due fili metallici, uno destinato a smorsare il lucignolo e l'altro a sollevarlo o abbassarlo. Al di sopra del serbatojo è un orlo nel quale sono in giro sei aperture *tt'*.., e sopra a questo si ferma una rete metallica da levarsi all'occorrenza per esser nettata, la quale fa come un ripiano che giunge dalla periferìa fino al luminello posto nel centro. Parimente dalla periferìa fino a poca distanza dal luminello sta una lastra metallica rilevata verso il centro in forma di tronco di cono, la quale conduce presso la fiamma l'aria che è passata dalle aperture *tt'*.., ed ha attraversato la rete metallica. Il lucignolo posto nel luminello occupa la parte centrale, e perchè la fiamma non si rimuova da questo luogo le sta sopra un piccol cammino D di lamiera d'ottone. Un cilindro di cristallo B, assai grosso e ben ricotto, chiude la lampada e lascia passare la luce, tenuto in posto dalle due ghiere *m,n*, e difeso dalle sei colonnette *ff*. Comunica il cammino con la parte superiore che è chiusa da rete metallica *o*, ha due strati di rete per coperchio ed anche una lastra metallica sostenuta da quattro colonnette, la quale porta il gancio.

20. *Resultati della combustione sovra i gas* — Perchè la combustione è la combinazione del corpo che brucia coll'ossigene, e quest'ultimo vien preso dall'atmosfera, ne accade che il prodotto della combustione deve essere più pesante del combustibile. Distinguonsi però i prodotti in solidi e in gasosi: ai primi il più delle volte conviene meglio il nome di residui per esser composti da quelle parti incombustibili che esistevano nella materia bruciata; i secondi si sviluppano e si dissipano a misura che son formati: dal che ne viene che le materie che si raccolgono dopo la combustione son piccola porzione de' suoi prodotti, ed hanno peso anche minore del combustibile.

È stato riconosciuto per esperienza che quando il fuoco è ben disposto l'aria che ha alimentata la combustione è solo per la metà bruciata; cioè contiene ancora il dieci per cento d'ossigene.

Si ritiene che 18 metri cubi di aria fredda siano necessari alla combustione di un kil. di combustibile, essendo questo carbon fossile. Infatti l'acido carbonico si compone di 1 di carbonio e 2 d'ossigene, quindi occorrono due kilogrammi di ossigene, o dieci di aria atmosferica per bruciare un kil. di carbone, e 10^k corrispondono a 8 metri cubi d'aria alla temperatura di 10° circa: cioè oltre a 16 metri cubi sarà quella che vuole usarsi. Negli altri combustibili che contengono minor quantità di car-

bone, basterà minor quantità d'aria.

Il volume dei gas che sono i residui della combustione resta lo stesso di quello dell'aria somministrata, e la poca differenza nel peso, può essere equiparata dalla maggior temperatura del cammino.

L'aria che alimenta la combustione vuole esser ben regolata giacchè se è eccessiva cagiona una perdita considerabile di calorico, passando nel cammino con molto elevata temperatura, e se è in troppo piccola quantità una perdita di calorico si ha egualmente per la conversione del carbone in ossido di carbonio. Infatti un kil. di carbone che si trasforma in acido carbonico produce 7170 unità di calorico, quantità che si riduce a 1386 quando il prodotto della combustione è ossido di carbonio, essendochè la quantità d'ossido di carbonio che si forma è $2^k,525$ e questa bruciata darebbe 5784 unità.

21. *Calor che si perde per l'aria bruciata.* — La determinazione della perdita di calore per la quantità d'aria calda che si inalza nel cammino, si ha col cercare il rapporto tra la temperatura che dall'aria nella combustione si potrebbe raccogliere se non se ne avessero dispersioni, e la temperatura colla quale l'aria sfugge per il cammino. Sia N il numero delle unità di calorico che si ottengono da un kil. di combustibile, sarebbe questo anche la temperatura che prende un kil. di acqua, e quella che prenderà un kil. di aria 4 N. Poniamo che questa temperatura sia ricevuta da V metri cubi di aria ciascuno del peso di $1^k,3$ avremo

$$\frac{4\,N}{1,3.V}$$

per la temperatura che potrebbesi avere nell'aria. Ora se è t quella colla quale l'aria effettivamente sfugge dal cammino, il domandato rapporto sarà

$$\frac{1,3V.t}{4.N} = 0,325.\,t\,\frac{V}{N}$$

Supposto che trattisi di carbon fossile N = 7500, V = 18, e perciò il calor che si perde quando la temperatura dell'aria che sfugge dal cammino è 100° sarà

$$\frac{32,5 \times 18}{7500} = 0,08$$

cioè quasi un decimo del totale è il calore che si perde per ogni cento gradi della temperatura che conserva l'aria perduta. E se passasse due, tre, o quattro volte, più d'aria di quella che è necessaria alla combustione attraverso al combustibile, sarebbe altrettanto maggiore questa perdita.

22. *Prezzo in Pisa del calorico, e del vapore acqueo, e calore che si ottiene da diversi combustibili.*

Legna da ardere, al posto in Pisa. . . . . per ogni 100 kil.
» di leccio, cerro, e querce tra lire 35 e 33 la catasta che pesa libbre 3300 circa.
Si possono ragguagliare . . L. 3,00
» di pino, ontano, ec. di peso libbre 3000 circa la catasta . . . . » 2,33
Carbone di legna al posto in Pisa . . . . » 6,42
Carbone fossile come sopra . « 5,17

Ecco una tavola ove sono notate le potenze calorifiche o unità di colore sviluppate per ogni kil. di combustibile, il volume del gas, e del vapore prodotto, la temperatura che potrebbe acquistare il fumo, e il rapporto del calor perduto per ogni cento gradi della temperatura.

Da questa confrontata colla precedente rilevasi che il prezzo del combustibile in Pisa per ogni 1000 unità di calorico è di circa otto deci-

mi di lira, e ciò in teoria, o nella combustione ordinaria per ogni 500 unità di calorico utilizzato; il maggior risparmio è nel carbon fossile, e la maggiore spesa nel carbone di legna. E 100^{k} di vapore costano circa lire 1 e 4 centesimi per la perdita che si ha della metà del calorico.

	Potenze calorifiche	*Volume del gas e del vapore prodotto*	*Temperatura che avrebbe il fumo*	*Rapporto del calore perduto per 100°*
Legna perfettamente secche . . .	3600	7^{mc}34	1509	0,066
Legna ordinarie col 20 per °/₀ d'acq.	2800	6,11	1490	0,071
Carbon fossile di media qualità . .	6500	18,43	1250	0,080
Coke col 15 per °/₀ di cenere . .	6000	15,00	1230	0,081
Torba completamente secca . . .	4800	11,75	1265	0,079
Torba ordinaria col 20 per °/₀ d'acq.	3600	9,65	1152	0,087
Lignite comune di Germania. . .	3680	,,	,,	,,
Litantrace di Montebamboli . . .	5940	,,	,,	,,
Carbone di legna	7000	16,40	1315	0,077
Idrogene puro	22115	,,	,,	,,

CAPITOLO II.

Delle vibrazioni aeree, e degli strumenti d'acustica e di musica.

23. *Il suono è un moto particolare che si produce in diversi mezzi, e principalmente nell'aria.* — Osservando ad assai distanza uno che ha prodotto un suono, o rumore, si ascolta dopo che se ne è veduto cessata la causa: così il lampo arriva prima del tuono, il fumo di un fucile si vede prima di sentire il colpo ec. E tanto più ritarda il suono quanto più grande è la distanza, per cui si comprende che quel suono partendosi dal luogo ove è stato eccitato si propaga in un tempo sensibile per lo spazio.

Che realmente il veicolo più comune del suono sia l'aria lo conosciamo coll'esperienze. Sotto la campana della macchina pneumatica una soneria posata sul piatto coll'intermedio di un piumaccio fa sentire il suono meno intenso a grado a grado che si rarefà l'aria. Potrebbe trasmetterlo anche qualunque altro fluido aeriforme, ed ancora un solido, ed è per questo che ho detto che la soneria debba posare sopra un corpo molle per esser questi a differenza degli elastici i meno atti a trasmettere il suono.

La celerità del suono nell'aria è provato dall'esperienze essere a 0° di 333^{m} in 1''. In generale in un gas qualunque si esprime colla formula

$$\sqrt{\frac{p}{d}\left(1+\frac{11.t}{3000}\right)\frac{c}{c'}}$$

essendo nel gas p l'elasticità, d la la densità, t la temperatura, c il calorico specifico a pressione costante,

e c' il calorico specifico sotto costante volume. A comprendere questa formula sembrami che possa riflettersi che la velocità delle vibrazioni in un mezzo cresce proporzionalmente all'intensità della forza che tiene unite le particelle, essendo essa che smosse le riporta al proprio stato; e che tanto questa forza aumenta la velocità quanto la diminuisce la densità o massa delle particelle sulle quali si propaga la forza stessa. Onde si ha la proporzione

$$v : p :: \frac{1}{v} : d$$

Inoltre la forza p o elasticità soffre l'aumento dovuto alla temperatura, e quello dovuto allo sviluppo di calorico cagionato dalla compressione del gas che si fa nel moto ondulatorio, i quali accrescimenti son portati dai due coefficienti

$$\left(1+\frac{11 . t}{3000}\right), \frac{c}{c'}$$

Applicata all'aria atmosferica a zero gradi quella formula dovremo porre $p = 1,^{k}033 \times 10000$,

$$p = \frac{\pi_1}{g} = \frac{1,299}{9,8}, \frac{c}{c'} = 1,4 ; t = o$$

ed avremo $v = 318^{m}$ circa, cioè poco meno di quello dato dall'esperienza, differenza che può esser dovuta al vapor d'acqua. Onde meglio sarà ritenere per l'aria atmosferica

$$v = 333^{m} \sqrt{1 + \frac{11 . t}{3000}}$$

che è formula provata tra -25° e+27°.

Da alcune esperienze che il Biot fece sovra un condotto di ferro fuso, resultò che si avevano due suoni distinti uno per l'interna massa fluida, ed uno più celere per le pareti metalliche. La differenza di velocità venne più piccola di quella che altre esperienze ed il calcolo han poi mostrato forse per la discontinuità in que' pezzi di ghisa. La formula della velocità del suono nei differenti corpi è

$$v = \sqrt{\frac{E}{d}}$$

ove E rappresenta il coefficiente d'elasticità valutato per un metro di sezione (*Mecc.* 7), ed a comprenderla basta ripetere il discorso fatto per la formula dei gas. Applicando questa al ferro si ha

$E = 20794 \times 1000000$, $d = 7788 : 9,8$ e perciò $v = 5115^{m}$. Nella formula che ho riportata in Meccanica (*Mecc.* 49), è ritenuto per la unità di lunghezza il millimetro, di peso il kilogrammo, e della celerità del suono quella celerità che esso ha nell'aria.

TAVOLA
delle velocità del suono

Nell'aria a 0° è 333m che si pone	1,00
Gas ossigene	0,95
Idrogene.	3,81
Acido carbonico	0,79
Ossido di Carbonio	1,01
Acqua	4,31
Ottone	10,40
Rame	11,13
Ferro	15,05
Acciaio tenero	15,10
Abete del Volges	16,54
Abete del Nord	16,30
Cristallo	16,05
Vetro comune	12,75
Vetro in tubi	12,45
Vetro	11,00
Vetro	16,30

24. *Del modo col quale il suono si propaga* — Un impulso prodotto al centro di una sfera gasosa si propaga colla medesima velocità secondo tutti i raggi qualunque sia la primitiva direzione della rarefazione, o condensazione che vi si è cagionata. Di qui ne viene la generazione dell'onde sonore sferiche nei fluidi

aeriformi. Cominceremo noi dal considerarle in una sola direzione, e per rendere più sensibile il fenomeno riterremo che si abbia (Tav.II.fig.3.) un tubo CB entro al quale muovasi uno stantuffo AA'. Mentre questo va da AA' in aa' condensa l'aria avanti a se, e di strato in strato propagasi la condensazione finchè dall'apertura B non è escita tant' aria, quanta ne conteneva lo spazio in cui si è mosso lo stantuffo. Viceversa dietro a questo si farà una rarefazione d'aria che riempiendosi da quella contigua verrà di strato in strato a propagarsi finchè dall'altro estremo C non è entrata nel tubo tutta quell'aria che è uscita dall'estremo B: cosicchè il grado della rarefazione è eguale a quello della condensazione. Se ora poniamo che lo stantuffo appena che è giunto da A in a ritorni da a in A la condensazione potrà non essersi propagata fino a B, e da questo estremo non sarà escita nessuna quantità d'aria mentre comincia a tornare indietro lo stantuffo. Sia giunta la condensazione fino in E, certamente in a sarà massima ed in E minima, e potremo rappresentarcela per gradi decrescenti come indica la curva e E colle sue decrescenti ordinate. Nel tempo che torna indietro lo stantuffo, si farà presso a se una rarefazione mentre si propaga in avanti la condensazione, e supporrò fino in F. La condensazione sarà minima in F, massima in f, minima in f' ove comincia la rarefazione, la quale sarà massima in f''. E perciò la curva F $ff'f''$ potrà colle sue ordinate al di sopra della linea AB accennare il grado della condensazione, e con quelle al di sotto il grado della rarefazione.

Se noi ripeteremo eguali considerazioni sull'aria che rimaneva alla parte posteriore dello stantuffo troveremo eguale il fenomeno, tranne che si avranno rarefazioni in luogo di condensazioni, e viceversa: cioè nel primo moto la rarefazione indicata dalla curva Gg, e nel secondo la rarefazione e la condensazione indicata dalla curva H$hh'h''$. Le porzioni di curve Fff',Hhh', rappresentano un'onda condensata, ed un onda rarefatta, e Ff',Hh' sono le lunghezze dell'onde eguali fra loro, come eguali sono i gradi di condensazione ai gradi di rarefazione, posto che lo stantuffo retroceda collo stesso moto col quale si è avanzato. Queste due onde, quando seguitasse a ripetersi senza interruzione il moto nello stantuffo, sarebbero come tutte di un pezzo trasportate verso le respettive estremità B,C del tubo, e per ogni corsa dello stantuffo si allontanerebbero dalla loro posizione della quantità eguale alla loro lunghezza, e il posto dell' onda condensata sarebbe occupato da una second' onda rarefatta e viceversa, alternandosi sempre le onde e tante essendo in numero quante sono state le corse dello stantuffo.

Adesso poniamo che invece dello stantuffo si abbia una particella vibrante, la quale produce il suono, e che non esistono le pareti del tubo, ma le rarefazioni e le condensazioni possan farsi in sfera come si è detto di sopra. Verranno a generarsi degli strati sferici di aria rarefatta, e dall'aria condensata alternati. Mezz' onda rarefatta unita a mezza onda condensata formerà una onda completa, nel modo stesso che l'allontanarsi la particella vibrante dalla posizione d'equilibrio, e il ritornarvi forma una intera vibrazione. La lunghezza della onda sarà MN (Tav.II. fig 4.), e l'ampiezza mostrerà il massimo grado di rarefa-

zione e di condensazione come MM′, NN′. La lunghezza dell'onda è collegata con la celerità del suono, e l'altezza con la intensità. Quella nella propagazione dell' onde in sfera si mantiene costante, e questa va scemando come mostra la figura. OS, OS′, OS″... sono i raggi sonori, e quando si diffondono in sfera sovra essi l'intensità del suono decresce come il quadrato delle distanze. Infatti: l'intensità del suono proviene dalla forza viva primitiva, e questa rimane la stessa diffondendosi per strati sferici di egual grossezza, ma tali strati stanno come i quadrati dei raggi, perciò in una determinata estensione, come è quella del timpano del nostro orecchio, la forza viva o l'intensità starà in ragione inversa del quadrato di detti raggi, o del quadrato delle distanze dalla sorgente sonora.

25. *Comunicazione delle vibrazioni sonore tra i fluidi e i solidi — Diapason e suo uso.* D'ordinario le vibrazioni si comunicano ai fluidi per mezzo dell'urto delle particelle che vibrano nei solidi, o coll'intermedio di questi corpi, come accade in molti strumenti a fiato. Dal momento che essi han concepito il moto, posson trasmetterlo a tutti i corpi che incontrano (*Int.* 86) ponendoli in vibrazione con un qualsivoglia suono. Dunque non vi ha corpo assai esteso che non possa rendere un determinato suono, se non come fondamentale, almeno come suono armonico.

La comunicazione delle vibrazioni tra le diverse parti di una massa solida ha portato Savvart a concludere che in un sistema qualunque, tutte le molecole vibranti han moti paralleli alla primitiva vibrazione. Per conseguenza se il movimento è prodotto da un'archetto, tutte le molecole vibrano parallelamente alla linea che percorrono i crini dai quali quello si compone. E questo medesimo principio pare verificarsi anche quando esiste un'intermedio di fluidi, perchè il rammentato Fisico ha osservato che ad una membrana tesa sopra un quadro, presentata una lastra in atto di suonare per vibrazioni trasversali, quando le rimane perpendicolare concepisce vibrazioni tangenziali, e quando le rimane parallela le acquista normali alla sua superficie.

Ogni corpo, o ogni parte di corpo che vibra, compie le vibrazioni in un determinato tempo, il quale non varia colla forza che imprime le vibrazioni. E gode perciò dell' isocronismo nelle sue vibrazioni, come ben si comprende riflettendo che è legge dell'elasticità (*Mecc.* 4) esser la forza che fa la particella per tornare al suo posto, tanto più grande, quanto per maggiore spazio ne era stata rimossa, e quindi tendere di tornare al loro posto con più celerità le particelle che han da far maggior cammino, e tutte ritornarvi in egual tempo. L'aria pure vibra in eguali tempi colle particelle solide che le danno moto, o che lo ricevono; e può quando riceva moto da due o più corpi sonori, vibrare corrispondentemente a ciascuno.

Il *Diapason* o Corista è una forcella di acciaio temperato assai grossa munita di un manico, la quale vibrata suona il la_3, o il *la* della seconda ottava del cembalo, ed è usato in musica per accordare, cioè per avere un suono fisso dal quale partirsi. In tutti gli strumenti a tastiera il *la* del Diapason, è unisono col *la* che rimane più verso il mezzo della tastiera. Il suo suono è sempre il

medesimo, voglio dire sempre sono le sue oscillazioni isocrone, sebbene possa divenire più intenso se si percuote con più forza o se si appoggia il suo manico mentre vibra ad una tavola che li faccia da cassa armonica. In generale ogni suono determinato ha determinata la durata della vibrazione, cioè ammette un determinato numero di vibrazioni in un minuto secondo; ed in fisica si conoscono più metodi per valutare questo numero. E stato dal Fischer ritrovato che i Diapason dell'orchestra del teatro di Berlino, e quelli dei principali Teatri di Parigi non sono isocroni, e si hanno in questi al *la*$_3$ i seguenti numeri di vibrazioni per ogni 1″

Teatro di Berlino . 437,32
Grand'opera francese 431,34
Fedeau 427,61
Teatro italiano . . 424,17

26. *Dei suoni musicali, della scala diatonica, dell'accordo ec.* — I notati isocronismi delle vibrazioni dei solidi e delle onde aeree in un dato suono costituiscono il carattere del suono musicale, e lo distinguono dal rumore. Trasmettendosi all'orecchio dell' uditore pulsazioni ad intervalli eguali di tempo, egli può prendere idea e gusto per il suono. Oltre al grave o acuto, e all' intensità del suono può l' orecchio prestare attenzione al carattere del suono che noi diciamo metallo, ed i francesi dicono *timbre*, e che è il distintivo di ciascuno strumento. Deve un suono rientrare nella stessa classe di un'altro non solo quando provenendo da strumenti diversi producono ambedue egual numero di pulsazioni equidistanti in eguali tempi, ma anche quando due pulsazioni pel secondo suono, cadevano nel tempo che per il primo facevasene una sola: nel primo caso dicesi infatti che si ha l' unisono, e nell' altro si ha l'accordo di ottava. Tre oscillazioni facendosi nel tempo in cui se ne faceva una sola, si ha pure un' accordo colla terza ottava, ed ecco stabilirsi l' intervallo tra un ottava e l'altra. E la particolare organizzazione dell' udito dell' uomo è forse stata la cagione che ha fatto adottare sette intervalli che regolano le voci delle quali si fa uso tra un'ottava e l'altra, e colle quali componesi la musica. Corrispondono questi intervalli a quelli pei quali progredisce la voce quando si pronunziano le *note*, o voci *do, re, mi, fa, sol, la, si, do.* La progressione di tali voci è detta scala diatonica: alla prima nota si dà il nome di fondamentale, le altre si chiamano *seconda, terza, quarta, quinta, sesta, settima, ottava*. Sono gradevoli ancora gli accordi della fondamentale colla quinta, o colla terza per essere i periodi dei due suoni in una proporzione espressa da numeri semplici. Infatti l'accordo di quinta dà la proporzione 2 : 3 e quello di terza 4 : 5, vale a dire si ricevono dall' orecchio due pulsazioni del primo suono per ogni tre del secondo, o cinque per ogni quattro. A misura che si aumentano i numeri delle vibrazioni il suono si fa più acuto, e più basso a misura che scemano: così si hanno le ottave più basse e quelle più acute, e per gradi si passa da un' ottava all' altra come mostrano i numeri seguenti che sono proporzionali a quelli delle vibrazioni

do	*re*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$

do	*re*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*	*do*
2	$\frac{9}{4}$	$\frac{5}{2}$	$\frac{8}{3}$	3	$\frac{10}{3}$	$\frac{15}{4}$	4

Di queste ottave ritienesi che l'orecchio non possa distinguerne che dieci, e la voce umana non valga ad eseguirne che quattro.

Negli intervalli, o rapporti geometrici che passano fra questi numeri vi è solo quello tra la terza e la quarta che discorda per picciolezza dagli altri ed è $^{16}/_{15}$, e vien riguardato come semituono; mentre agli altri si dà il nome di tuono superiore se sono più grandi o tuono minore se più piccoli. Per regolarizzare questi intervalli si aggiungono i diesis ed i bimolle e si dice che gli uni accrescono la nota di mezzo tuono, e gli altri la diminuiscono. Ma poichè anche in queste modo non possono ridursi tutti gli intervalli ai $^{16}/_{15}$ si tengono degli intervalli non precisamente corrispondenti ai numeri, onde il difetto dell'uno compensi quello dell'altro. Ed in questo consiste ciò che in musica dicesi *temperamento*.

27. *Delle vibrazioni delle corde, e delle corde aeree* — Sia che si pizzichi una corda o che si urti verso il suo mezzo essa vibra trasversalmente, e manda un suono che è dipendente dalla celerità delle vibrazioni. Il Taylor insegnò che il tempo t di durata della vibrazione di una corda essendo determinato dalla massa M della corda, dalla forza F che la stira, e dalla sua lunghezza L si esprime $t = \sqrt{\frac{ML}{F}}$

Ed a far comprendere, anzichè a dimostrare, questa espressione osserverò che ad ogni minimo allontanamento s della corda dalla posizione naturale si ha per la legge di Sgravesand (*Mecc.* 4) una reazione elastica proporzionale ad

$$\frac{s}{L}, \text{come ad } \frac{F}{M}.$$

è proporzionale pure la stessa reazione elastica, o la forza ϕ acceleratrice che riporta la corda alla primitiva posizione. Onde dovrà essere

$$\phi = \frac{Fs}{ML}$$

non esattamente ma approssimativamente per aver trascurato l'accrescimento della tensione della corda nel suo vibrare. Dalla meccanica si ha

$$\phi = \frac{v}{t}, \text{ e } v = \frac{s}{t} \text{ cioè } t = \sqrt{\frac{s}{\phi}}$$

ove t rappresenta un tempo minimissimo della durata di un elemento s di vibrazione, e v la velocità comunicata in questo tempo. Ora sostituito il valore di ϕ si trova essere il tempo indipendente dallo spazio s ed espresso dalla formula del Taylor, e potrà per conseguenza esser lo stesso anche quando lo spazio s sia quello di un intera vibrazione. Chiamato D il diametro della corda, e d la densità avremo

$$M = \frac{\pi D^2 L d}{4} \text{ e } t = {}^1/_2 \, DL \frac{\sqrt{\pi d}}{F}$$

Ed indicato con n il numero delle vibrazioni che si fanno in 1'', avremo $nt = 1''$, e

$$n = \frac{1}{t} = \frac{2}{DL} \sqrt{\frac{F}{\pi d}}$$

Di qui deduconsi le leggi sulle vibrazioni trasversali delle corde

I.° I numeri delle vibrazioni di una corda sono in ragione inversa della sua lunghezza.

II.° Stanno in ragion diretta delle radici quadrate delle tensioni.

III.° Stanno in ragione inversa del lor diametro quando hanno eguale densità.

IV.° E quando sono di differente materia stanno in ragione inversa delle radici quadrate della loro densità.

Si producono vibrazioni longitudinali collo sfregare una corda tesa

nel senso della sua lunghezza, e ben riescono usando un pezzo di panno impolverato con pece greca. L' elasticità della corda ha un' influenza particolare sù queste vibrazioni, e le fa distinguere da quelle trasversali. Esse agendo direttamente sulla resistenza elastica assoluta, dan luogo a vibrazioni molto rapide, ed a suoni acutissimi. E Poisson ha dedotto dall' analisi che chiamato l l' allungamento che soffre la corda sotto la tensione F ed n' il numero delle vibrazioni longitudinali in 1″ si ha $n' \sqrt{L} = n \sqrt{l}$, formula che è stata verificata coll' esperienza da Savart.

Un' archetto che frega una corda la quale con il dito viene ritenuta al suo posto è obbligata a non far ventre, produce nelle parti della corda dei moti di rotazione attorno all' asse o delle vibrazioni rotanti: le quali pure hanno un certo rapporto con quelle trasversali, e Poisson col calcolo, e Savart coll' esperienza han stabilito che un rapporto costante esiste tra il numero n delle vibrazioni trasversali, e quello n'' delle rotanti ed è

$$\frac{n''}{n} = {}^1/_2 \sqrt{10} = 1,581$$

A tutte queste leggi aggiungiamo che le corde si vibrano intere, e per parti aliquote (*Int.* 85) e queste parti sono separate da punti di riposo o nodi. Egualmente, o almeno in modo molto analogo si hanno (24) nell' aria messa in vibrazione ad intervalli determinati i ventri sonori ed i punti di riposo, e può imaginarsi che un certo numero di questi intervalli formino una corda aerea. Una massa d'aria limitata nelle sue dimensioni, come quella che si contiene in un tubo o tra alcune pareti, vibrerà pertanto analogamente ad una corda. I raggi sonori possono aversi per corde aeree infinitamente lunghe. Ed una corda infinitamente lunga sia solida sia aerea può riguardarsi come se avesse delle parti aliquote unisone con qualunque corda finita.

28. *Degli strumenti a corda.* — Tutti gli strumenti a corda hanno una cassa sonora, o piano armonico. La corda, la cassa, e l'aria, che contiene, formano un sistema vibrante di cui ciascuna parte imprime al suono un *timbre* particolare. La corda determina il tono, e le altre parti devono mettersi all' unisono con quella essendochè i punti, ove essa tocca i cavalletti rappresentano inevitabilmente dei nodi, determinati i quali e la tensione della corda, ne vien fissato il tono del suono. Quindi comprendesi la difficoltà di fare una buona cassa armonica, cioè che mentre invigorisca il suono non lo alteri, e si ponga all' unisono con tutti i suoni che posson trarsi dalle corde dello strumento. L' avere il legno un poco più di elasticità o di rigidità esigerà un' altra forma nella cassa: così due violini egualmente perfetti possono aver forme sensibilmente differenti, e due violini della medesima forma possono essere ben diversi in bontà. Un leggero cangiamento nei pezzi mobili di un violino può far variare il grado della sua bontà, perchè le vibrazioni passano dalla corda alla tavola superiore per mezzo del cavalletto, e dalla tavola superiore a quella inferiore coll' intermedio dell' anima.

Sul violoncello, e sulla viola si fa uso talvolta dei suoni delle parti aliquote di una corda appoggiando il dito, al mezzo, al terzo, o ad un' altra frazione della corda per rendervi più pronunziato un nodo. E tanto sul violino quanto sulla chitarra molte no-

te si fanno col ridurre la lunghezza della corda appoggiandola in un punto col dito. In quest' ultimo strumento sono sul lungo manico alcune piccole traverse disposte per semitoni con la legge che si è detta per le lunghezze delle corde, e per la scala diatonica (T. II, f. 5). Sonatori espertissimi usano ancora il violino ad una sola corda, traendo le diverse note colla sola riduzione nella lunghezza di quella, e forse col giovarsi dei diversi generi di vibrazioni.

Nella costruzione degli strumenti la tensione delle corde suole esser determinata dall' attrito del piroletto che la stira, e a disposizione del costruttore rimane talvolta la lunghezza, e più spesso il diametro e la materia della corda; elementi che ben servono per estendere i toni, ed anche ad assai ottave. Negli strumenti a poche corde come il violino, la chitarra ec., si fanno d' ordinario egualmente lunghe, perchè un solo ponticello serva per marcare il principio ad un' estremo, ed un' altra traversa più bassa per determinarne la fine, nulla contando la porzione di corda che rimane contenuta tra l' appoggio e l' attacco. Negli strumenti ove le corde son molte come l' arpa, il cimbalo, e il piano-forte si suole sovra una linea retta porre il principio di tutte le corde, e sovra una curva il fine. Questa curva per l' arpa e per alcuni piano-forti è a guisa di ∽ per cui conviene aumentar molto il diametro delle corde nei bassi, e per i piano-forti a coda ha una centinatura più estesa, per cui si può avere collo stesso aumento nel diametro delle corde, maggiore estensione di tastiera.

È detto il violino il re degli strumenti per l' espressione che l' artista può darvi alla sua esecuzione, attesa la grande estensione del suo diapason, e la varia qualità o metallo dei suoni: ha quattro corde delle quali la più grossa filata, cioè di budello rivestita di un filo sottilissimo d' ottone per accrescerne la massa, e dà il *sol*; e l' opposta negli acuti è la più sottil corda di budello che si faccia, ed è detta cantarella. Non differiscono dal violino che per aver più grande il modello tanto l' alto-viola, che il violoncello o basso, e il contrabbasso. Il *la* a vuoto dell' alto e del violino sono all' unisono, quello del basso è all' ottava inferiore, e la sua lunghezza è doppia del *la* del violino. Le tre corde del contrabbasso sono all' ottava inferiore del *sol re la* del violoncello. Il bisogno di far separati questi strumenti mostra che la cassa armonica ben composta non può render suoni troppo differenti, e che anche il modo di comunicar vibrazioni alle corde deve dar forza proporzionata alla massa stessa della corda, infatti gli archetti in questi strumenti van crescendo in robustezza come crescono le dimensioni delle casse. La Cassa del violino formata di due tavole ovali e parallele, leggermente rigonfiate, e tenute dalle fasce laterali di faggio, deve avere la tavola superiore, detta armonica, d' abete secchissimo, e di fibra estremamente sottile, e senza resina con due aperture verso il mezzo per facilitare il moto dell' aria, e assottigliata in certi punti. E la tavola di sotto ordinariamente si fa di faggio composta di due pezzi incollati secondo la lunghezza e nel senso delle fibre (T. II. f. 6).

D' ordinario negli strumenti a corde si evitano le vibrazioni longitudinali, come quelle che danno suoni troppo acuti, e non si fa conto che di quelle trasversali, o con lo

sfregamento di un'archetto come nel violino, o pinsando le corde come nell'arpa, nella chitarra, nel cimbalo, o urtandole come nel piano-forte. In queste diversità nella comunicazione del moto, mentre molto consiste la intensità del suono può credersi che anche un qualche effetto vi sia per le vibrazioni rotanti.

Le corde dell'arpa tutte tese parallelamente sono di diversa grossezza e lunghezza. Parallele al lato verticale partono dal lato obliquo del triangolo che può dirsi formare lo strumento, e vanno a terminare al lato superiore il quale è curvo a guisa di un ∽. Quelle vicine al lato o colonna verticale sono le più grosse e le più lunghe, danno i suoni gravi: le 6 ovvero 8 prime sono avvoltate di ottone per aumentare la lor massa; le altre tutte di budello decrescono di lunghezza e di grossezza e rendono suoni più acuti, e le ultime in grossezza non potendo decrescer tanto quanto occorrerebbe per non privarle di resistenza, si scema maggiormente la loro lunghezza, e per conseguenza ne viene la curvatura del lato superiore dello strumento. Sono in tutte 40 o 42 corde che formano 6 ottave. Ordinariamente il suon più grave è *sol* o anche *fa* all'unisono del suon più grave del piano-forte. Le altre corde seguono l'ordine diatonico del gamma maggiore in *mi* bimolle, cioè non vi si posson suonare che i pezzi di musica scritti con tre bimolli in chiave vale a dire *si*, *mi* e *la*. Esistono nell'arpa anche sette pedali che per il meccanismo di Nadermann danno il diesis delle note, e secondo quello di Evard danno a ciascuna nota il diesis e il bimolle.

I piano-forti hanno per ogni tasto due o tre corde all'unisono che vengono percosse simultaneamente da una specie di martello. Quando lo strumento è a tre corde per tasto, ed ha sei ottave e mezzo si compone di 80 volte tre corde o 240 tese parallelamente nella cassa al di sopra di una tavola d'abeto che si chiama piano armonico. La tensione delle corde si valuta a 15 libbre onde la tensione totale che soffrono le parti dello strumento ove stanno attaccate le 240 corde e di circa 4 migliaia di libbre, e per conseguenza debbono esser resi ben stabili i loro attacchi da sbarre di ferro che stanno sotto il piano armonico. Sono le corde tutte di metallo; e nel piano forte a coda si hanno per i bassi corde molto lunghe, e sempre tanto i diametri che le lunghezze dipendono dal genere dei suoni gravi o acuti che se ne vogliono ottenere e formano colla lunghezza una curva ad una sola curvatura molto piegata verso gli acuti, mentre nel piano forte a tavolino o rettangolare presentano una curva come nell'arpa. Il meccanismo del tasto è il seguente. Rappresenta (Tav. II. fig. 7) B una leva che comincia col tasto A, e formata di abete ben stagionato, ha in *c* il punto d'appoggio per mezzo di un pernio passato in un foro svasato, e cinto da un girello di panno *i*. La leva che è lunga 15 o 16 pollici inclinata dalla applicazione del dito in A, riprende la posizione orizzontale quando il dito l'abbandona per il peso del braccio CB. Un cappelletto che sormonta una piccola verga D d'ottone si rialza colla leva, ed urta il pezzo E della verghetta, che ha N per centro di rotazione, e che porta essa pure un piuolo F; anche questa verga monta dunque per effetto della leva, ed urta il piccol pezzo

di legno P in un punto molto prossimo alla sua estremità Q che è fissa. Onde con molta velocità è mosso in alto il guancialetto R di legno guarnito di cuoio, che come martello percuote nello stesso tempo due o tre corde H I. Una verghetta verticale M fissata alla cassa e passante per una fessura attraverso alla leva tien questa in guida, e la dirige nel suo moto. E poichè le corde vibranti continuerebbero ad oscillare ed a suonare per troppo tempo dopo l'urto a scapito della musica successiva, si toglie tale inconveniente con lo smorzo, o piccoli pezzi di panno H che uniti a prismetti di legno vengono cacciati in alto nell'atto della prima vibrazione della corda col mezzo della vaghetta k, e tosto ricadono sulla corda premendola. Mancano gli smorzi alle corde delle ottave acute le quali essendo molto corte, e molto tese hanno vibrazioni di brevissima durata. Per variare gli effetti musicali dello strumento si sono imaginati dei pedali, sia levando gli smorzi per dar più fracasso alla musica, o ponendone dei maggiori per dare un timbre diverso al suono, o aggiungendovi la banda e i campanelli ec.

Della formula del Taylor sarà utile dare un' applicazione numerica insegnando a determinare il numero delle vibrazioni fatte da una corda. Il Dott. Smith stirò con $3^k,2$ un filo d'ottone lungo $0^m,9$, e del peso di $0^k,002$, ed ottenne l'unisono colla doppia ottava bassa della corda vuota che dà il *do* del violino. Sostituiti questi valori nella formula, si ha per il tempo della durata di una vibrazione

$$t = \sqrt{\frac{0,002 \times 0,9}{9,8 \times 3,2}} = 0'',0076$$

e il numero delle vibrazioni che si fanno dalla corda in 1'', o da quel *do*, sarà
$$n = \frac{1}{0'',0076} = 131$$

29. ***Delle vibrazioni nelle lamine chiuse, e nelle lastre. Armonica.*** Egualmente alle corde si suddividono nel vibrare in parti aliquote le lamine chiuse, le quali possono aversi per corde riunite ai loro estremi. Il più grave suono viene quando esse si suddividono in sole quattro parti. Con un cerchio si ha una disposizione concentrica di più lamine chiuse, e per conseguenza anche su questa superficie si avranno analoghi resultati, e le linee di riposo saranno nel caso del suono più grave due diametri che si tagliano ad angoli retti se la superficie sia omogenea. Può farsene esperienza con un cerchio di cristallo fermato con un morsetto ad un punto qualsivoglia o al centro, e messo in vibrazione collo strisciare un archetto da violino lungo la sua circonferenza appoggiando l'archetto distante 45° dal punto della circonferenza ove va il raggio sul quale è fermato il morsetto, e spargendo di rena la sua superficie, la qual rena si ritira sopra i due diametri che rappresentano le linee nodali.

Posto che l'altezza del suono sia inversamente proporzionale alle radici (27) delle masse vibranti, colle dimensioni del corpo vibrato starà essa in proporzione. E poichè le linee nodali si formano analogamente in corpi simili convien concludere che l'altezza del suono nelle superfici di figura simile è in ragione inversa delle loro dimensioni, ed in solidi perfettamente simili i valori dei suoni saranno reciproci ai quadrati delle loro dimensioni omologhe. Potranno adunque graduarsi le lastre di vetro tutte di figura ret-

tangolare in modo da avere le differenti note del gamma. Questo è il principio dello istrumento conosciuto sotto il nome d'Armonica.

30 *Delle Campane* — La campana può studiarsi nella corona dove batte il battaglio, e alla quale sta unito l'anello esterno; e nella curvatura ove diventa gradatamente più densa e più larga, la quale è terminata superiormente dalla cuffia, ove è attaccato il battaglio, ed ove sono gli orecchioni metallici all'esterno. La corona è la parte più densa, e dà la proporzione per tutte le altre. Le vibrazioni che si eccitano in essa determinano l'intensità del suono colla densità e col peso del battaglio, e l'altezza del suono colla sua apertura. Per la facile produzione delle vibrazioni conviene che la campana non sia troppo densa, lo che produrrebbe un suono leggero; ed abbia quella sola grossezza che occorre per la resistenza. Dalla cuffia fino alla metà la campana ha ordinariamente eguale densità, e da questo punto fino alla corona acquista essa maggior grossezza. Le vibrazioni devono effettuarsi in tutti i punti colla maggiore uniformità possibile e per questo non può darsi alla campana egual grossezza nelle sue diverse altezze, ciò le darebbe un tuono sordo, atteso la maggior facilità di vibrare nella parte più aperta.

Le oscillazioni di una campana, o di un vaso rotondo sono determinate da linee nodali che si tagliano al mezzo cioè al collo, o al manico della campana, e dividono la sua superficie ordinariamente in quattro parti eguali, ma talvolta anche in sei o in otto a guisa di settori. Colpita una campana insieme col suono il più grave, si intendono spesso altri suoni acuti poco armonici, e si possono separare fra loro questi suoni coll'aiutare le vibrazioni che appartengono al suono che si vuole distinto, ponendo una mano sopra la linea nodale che li appartiene, o ripetendo il colpo al mezzo della respettiva parte vibrante, lo che fa il battaglio col tornare a percuotere sul punto diametralmente opposto a quello ove ha percosso la prima volta. Per quello che si è detto nelle lamine vibranti la lunghezza e il diametro delle campane abbassa il tuono, e tra le campane di figura simile le più grandi danno suono più grave. Oggi giorno si è introdotto l'uso di fare i campanelli bassi per cui si ha più acuto ed intenso il suono.

Il Cariglione che si usa negli organi non è che una scala intonata di consimili campanelli. Per intonarli si torniscono, e levando della materia verso la sommità particolarmente sul voltare della curva, si abbassa il tuono; come si alza levandola verso l'orlo, e scorciando il campanello.

Molto influisce sulla qualità del suono il metallo che si usa, e in ciò gioverà consultare quello che ho detto sul metallo delle campane (*Int.* 170); la lega di 100 rame e circa 30 di stagno è biancastra, e molto sonora, ma assai friabile.

31. *Degli Strumenti a fiato e principalmente delle canne da organo* — Una corrente di aria può in diversi modi produr de'moti oscillatori, e divenir cagione di suono: si usa negli strumenti a fiato una corrente d'aria che può esser data da un recipiente il quale la trattenga con elasticità di alcuni centimetri d'acqua al di sopra di quella dell'atmosfera.

Le canne a fiato da organo, il flauto traverso, e quello a becco mostrano imboccature differenti, ma in cia-

scuna vedesi un'apertura che dicesi bocca, e un labbro superiore contro il quale s'infrange l'aria per dar luogo alle vibrazioni aeree entro il tubo. L'intensità del suono dipende dalle dimensioni del tubo, ed occorre che questo abbia certi rapporti nelle dimensioni affinchè il suono sia pieno e non incerto, ed affinchè abbia un determinato *timbre*. Anche la materia di cui si compone il tubo regola la qualità o metallo del suono, non la sua altezza, la qual solo dipende dalla lunghezza del tubo, e dalla forza del fiato.

Trattiamo in primo luogo dei tubi aperti e di uniforme diametro. L'onda sonora che corrisponde al suono fondamentale di un tubo ha la stessa lunghezza del tubo, e quella che corrisponde all'ottava superiore ha una lunghezza metà, e di un quarto si ha la lunghezza montando di un'altra ottava, e così di seguito. Le due estremità del tubo sono essenzialmente ventri, cioè l'aria non vi è nè condensata ne rarefatta, perchè comunica coll'atmosfera, e lo spazio compreso tra questi due ventri non può essere occupato che da un numero intero di onde, cioè da 1, 2, 3 ec. Laonde

I. Dando al tubo fiato con più o meno forza e cangiando se occorre la larghezza della bocca si giungerà a farli rendere differenti suoni, e se rappresentiamo con 1 il suono fondamentale, cioè il più grave che possa dare, gli altri andranno di accordo in accordo più alti cioè saranno 2, 3, 4 ec. nell'ordine dei numeri naturali, e non sarà possibile levar suoni intermedj a questi.

II. Tutti i tubi cilindrici o prismatici della stessa lunghezza daranno i medesimi suoni fondamentali e la stessa serie 2, 3, 4 ec. purchè la loro lunghezza sia 10, o 12 volte il loro diametro, e la materia che li compone abbia conveniente rigidità. Sarà più facile che passino col suono d'ottava in ottava quelli che son più sottili.

III. Per il suono 2 della ottava superiore si ha un ventre al mezzo del tubo, e per quello 3, che è l'accordo di quinta nell'ottava superiore se ne ha due, al suo terzo, e ai due terzi; e così per il suono dell'altra ottava. Onde se tagliasi nel primo caso il tubo alla metà, o nel secondo caso al terzo, e in generale ove esiste un ventre se si apre il tubo non si altera il suono.

IV. All'incontro si altera se l'apertura si faccia in altra parte, e di questo resultato si valgono in quelli strumenti ove da un sol tubo devono levarsi più suoni, e fanno più fori lungo il tubo.

V. Per montare un gamma converrebbe prendere 8 tubi la cui lunghezza sieno come i numeri

$$1, \frac{8}{9} \; \frac{4}{5} \; \frac{3}{4} \; \frac{2}{3} \; \frac{3}{5} \; \frac{8}{15} \; \frac{1}{2}$$

al pari che nelle corde. Ma l'esperienza si allontana qualche poco dalla teoria, e quelle lunghezze darebbero un gamma falso. Misurando la lunghezza delle canne che in un organo formavano un'ottava accordata, ho ritrovato che valutata l'altezza della bocca si avevano nei tubi le seguenti lunghezze

do	*re*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*	*do*
1	0,88	0,76	0,73	0,64	0,556	0,49	0,47

Nè l'esser la lunghezza delle canne nei suoni più piccola di quella che si avrebbe per la teoria poteva provenire totalmente dalla decrescenza che esse avevano nei loro diametri, perchè ho sempre trovato che anche in canne di egual diametro bisogna fare un poco meno della me-

tà la lunghezza per avere il suono dell' ottava.

VI. Nell' ottava da me riscontrata, come ho qui sopra detto, al *do* col quale essa principiava aveva la canna un diametro, che stava a quello del *do* seguente al principio dell'altra ottava più acuta, prossimamente :: 5 : 2. Se le canne si tenessero in un ottava o in più ottave tutte di egual diametro cambierebbe il *timbre* del suono, ed anche ottavizzerebbero, o flautizzerebbero. Per aver voce chiara si fa il diametro piccolo, e grande per ottenere voce opaca o come suol dirsi flautata. Nelle canne che han piccol diametro si richiede anche un poco minor lunghezza, che in quelle che hanno diametro grande ad ottenere la stessa altezza di suono.

VII. La proporzione fra il diametro dalla canna e la lunghezza varia secondo la qualità, e secondo l'altezza del suono. Si fanno negli organi le canne tozze che servono per i flauti e principiando dall' ottava che nei bassi sta avanti a quella del diapason la proporzione tra il diametro e la lunghezza è 1 : 10 nel *do*, poi va scemando fino a giungere dopo tre ottave nel quarto *do* ad 1 : 4. Le canne ordinarie per le voci chiare hanno un diametro che è circa $^{2}/_{5}$ di quello delle tozze, ed in queste si usa spesso il rapporto di 1 : 20, e più ancora. Possiam dire che qui ancor più che nelle cose precedenti conviene stare all' esperienza anzi che alla teoria giacchè la capacità del fabbricante regola la proporzione tra il diametro e la lunghezza secondo la forza che vuol dare alla voce. Si aumenta la forza facendo il diametro più largo a proporzione della lunghezza del tubo, e si scema quella col tenere nelle canne i diametri più piccoli.

VIII. Anche l'altezza della bocca decresce allo scemare della lunghezza della canna, e dalla giusta proporzione di questa proviene la facilità del suonare la canna con poco fiato. Sempre interessa che il labbro superiore stia contro alla fessura per dove sorte il fiato dal porta vento, onde possa infrangervisi l'aria. In un suono ben regolato la corrente dell' aria esce dalla bocca, e non dalla apertura superiore. Il porta vento, cioè la porzione di canna che è al di sotto della bocca nulla interessa che sia più alto o più basso, solo deve avere una ben fatta apertura longitudinale che corrisponda al labbro. La quantità di fiato o vento deve essere determinata perchè dalla canna costantemente ne esca il medesimo suono.

IX. Le onde aeree che si fanno nei tubi chiamate da alcuni concamerazioni, non sono da confondersi con quelle che han luogo nell'aria libera. Infatti il *do*, che principiava l'ottava dell' organo da me come sopra esaminata, era quello dell'ottava più bassa di quella del *diapason*, ed aveva una canna aperta lunga $0^{m},554$. Al diapason corrispondono 430 vibrazioni in 1″, che è il *la*; al *do* della sua ottava corrisponderanno

$$430 \times {}^{3}/_{5} = 258$$

e al *do* dell' ottava più bassa 129 vibrazioni. Ma 337^{m} è la celerità del suono nell' aria alla temperatura ordinaria, ed essendo

$$\frac{337}{129 \times 0{,}554} = 4{,}6$$

convien credere che le onde aeree in quel tubo sieno meno del quarto in lunghezza delle onde aeree libere.

Nei tubi chiusi l' onda corrispondente al suono fondamentale ha una lunghezza doppia di quella del tubo aperto perchè il moto del suono va

a riflettersi nel fondo del tubo e ritorna sull'imboccatura. Ed in questi i ventri delle onde dirette devono corrispondersi negli stessi punti ove esistono i ventri delle onde riflesse. Quindi ne viene

I° Che, dovendo i ventri per il moto riflesso riprodursi nello stesso luogo che per il moto diretto, aumentata a gradi in un tubo chiuso la forza del l'aria dopo il suono fondamentale 1 viene il 3, e poi il 5, ec. cioè seguono i suoni la serie dei numeri impari. Nè è possibile fare dal medesimo escire alcun suono intermedio.

II° Quando si ha il suono fondamentale 1 viene riflessa l'onda al suo mezzo ove è il nodo presso la chiusura del tubo, e i due ventri diretto e riflesso sono alla bocca. Al suono 3 esiste un ventre ai due terzi, ed un'altro alla bocca, ed esistono due nodi o luoghi ove l'aria è ferma uno al primo terzo, ed il secondo all'estremo ove è la chiusura. E quando si ha il suono 5, vi sono tre ventri e tre nodi: fatta la canna lunga per la riflessione $10/5$ si scorge che un ventre sarà alla bocca, e poi si succederanno di due in due quinti, cioè a $2/5$, $4/5$, $6/5$, $8/5$, ma questi due ultimi ritornano nello stesso luogo dei primi per la riflessione. Intermedi esisteranno i nodi cioè ad $1/5$, $3/5$, $5/5$, $7/5$, $9/5$, e i due ultimi al solito coincideranno con i primi. Di qui scorgesi la legge per il suono 7 e per quello 9. ec.

III° Si potrà dunque far delle aperture a tutti i luoghi ove restano i ventri senza che si alteri il suono, e si potrà con egual resultato porre la chiusura in tutti i punti che appartengono ai nodi.

IV. In ogni luogo diverso, fatto il foro, o posta la chiusura si avrà mutazione di suono, come si è detto dei tubi aperti; e parimente le stesse considerazioni posson farsi per la costruzione del gamma.

V.° In queste canne conviene, per tutte le cagioni di cui si è parlato nelle canne aperte, attenersi ai resultati sperimentali anzichè ai teorici. Ed è solo un'esperto artista che sa proporzionarne tutte le dimensioni, e conosce quando sia da usarsi la canna cilindrica chiusa anzichè l'aperta per conservare il *timbre* al suono. Il tubo chiuso suol dar suono un pocolino più basso di quello che proviene da egual tubo aperto di doppia lunghezza.

Oltre alle cilindriche si fanno negli organi da Chiesa canne convergenti, o divergenti secondo che vuolsi un registro che imiti lo stridulo della corda strisciata dall'arco, o la voce opaca del corno. Il flauto a becco si forma con una canna tozza tappata che in mezzo al tappo si apre in un corto e stretto tubo cilindrico.

L'organo da Chiesa è il più grandioso istrumento di musica, ha la voce più di ogni altro estesa, e i suoni più variati. Rimarcabile è l'effetto della sua armonia con i suoi registri a becca e a lingua. Li si fa imitare il suono del flauto, l'acuto strido del flagioletto, il tuono dei contrabbassi, lo strepito delle trombe, l'effetto dell'eco, e perfino il canto degli uccelli, e la voce umana. L'organista collocato sul davanti, tocca la tastiera come nel pianoforte, aprendo al muover dei tasti l'ingresso al vento nelle canne, cambia i registri che han da esser suonati col tirare alcuni bottoni che sono distribuiti sovra un lato, e col piede muove i pedali che modificano gli effetti e il vento. Questo mandato da uno e più mantici vien raccolto in una gran cassa orizzontale

fatta in legno compatto, come il noce, e ben chiusa la quale chiamasi bancone, in quella sono alla faccia di sopra tutti i fori ai quali si adatta giusta una guarnizione di pelle il porta-vento delle canne. Ogni foro è chiuso alla parte interna da una valvula, e questa all'occorrenza che debba sonare la canna viene aperta dal meccanismo del registro; col tasto dal sonatore si apre il condotto del fiato. Ad ogni tasto spetta l'ufizio di aprire una valvula che sta ben pressata con una molla contro la faccia superiore del bancone. Una tal valvula fa comunicare il vento accumulato dai mantici nel bancone ad un condotto particolare che corrisponde a tutte le canne dei differenti registri le quali appartengono a quel tasto, e che perciò hanno la medesima altezza di suono, e diversa qualità. Il meccanismo del registro se è a tiro consiste in una riga di legno messa a incastro nella grossezza della faccia superiore del bancone la quale porta i suoi fori, corrispondenti alle canne di quel registro, a combaciare con quelli che sono nel bancone se il registro è aperto, o a non combaciarvi se è chiuso: allorchè il registro è a molla ogni foro ha la sua valvula chiusa da una molla, e tutte le valvule corrispondenti alle canne di un registro si aprono al tirare una riga. L'accordatura degli organi nei registri a bocca, quando sia ridotta ad alzare o abbassare il suono di piccolissima quantità, si eseguisce aprendo in cima le canne coll' introdurvi un cono metallico alla parte convessa se deve alzarsi il tuono, o chiudendole coll' introdurvelo per la parte concava se il tuono deve abbassarsi. Nelle canne che stanno in facciata per conservarne bello l'aspetto si taglia un labbro alla parte posteriore, il qual determina la vera lunghezza della canna, e si rivolge o all'indentro o all'infuori questo labbro secondochè vuole di poco nell'accordatura abbassarsi o alzarsi il tuono.

I tubi metallici di forma cilindrica hanno un' apertura laterale a rettangolo che ne costituisce la bocca (Tav. II fig. 8), il labbro superiore, come quello inferiore sono inclinati per circa 22°,5 alla verticale verso il dentro; hanno un piede, che fa da portavento, in forma conica che si adatta colla parte più stretta al bancone, e la più larga è chiusa da un diaframma saldato mancante di un segmento che lascia la luce al vento verso il labbro inferiore, e l'orlo del diaframma è con piccoli tagli (31 VIII). Oltre alle canne metalliche tra le quali alcune sono di stagno in mostra, ed altre di piombo nell' interno, ne esistono per i bassi di quelle di legno fatte in forma di parallelopipedo da quattro tavolette bene unite insieme, ed altre di latta nella lor parte superiore, e di piombo nel piede che formano i registri a lingua de' quali parleremo in appresso. Le figure delle canne sono diverse; ogni registro, perchè si assomigli al nome datogli richiede un diametro, e una figura di canna differente (31. VI. VII. ec.). Vi sono i tubi chiusi per abbassare di più il suono, giacchè quello chiuso di 16 piedi suona come l'aperto di 32 piedi che è il *do* più grave che possa intendersi.

Sebbene in altri strumenti a fiato non si abbia come nell'organo il tubo cilindrico, pure l'aria vibra in un modo analogo. Alcuni sono rivolti in giri per dare al tubo più lunghezza senza aumentare di troppo la dimensione dello strumento, come sarebbe il corno, e la tromba. In questi stru-

menti si dà fiato dall'individuo che suona, e le labbra regolano la celerità dell'aria, e le dimensioni della bocca dello strumento, in modo che può dirsi esser la bocca dell'individuo una porzione dello strumento, ed una porzione variabile per sì fatta maniera da poter rilevare dallo strumento tutte quelle note di cui è suscettibile si uniscono per estendere i suoni anche i fori che fan variare la lunghezza del tubo, così per una data lunghezza al solo variare l'apertura delle labbra, o a mandar fiato con maggior forza, potrà passarsi una nota da un' ottava all' altra, e col variare la lunghezza del tubo si passerà da una ad un' altra nota.

La regola per porre i fori nei flauti ordinari determinata dal bisogno di aver quelle note che corrispondono alla loro distanza dalla bocca non può esser fissata che dal copiare un buon modello di quello strumento, perchè non solo influisce ad alzare il suono il fare i fori più vicini all' imboccatura, ma anche il farli più grandi e il lasciarli minor porzione otturati col dito del suonatore.

Il Basso che dà due ottave e mezzo dal *si bimolle* al di sotto del tuono il più basso del Violoncello fino al *la* ottava al di sopra della cantarella di questo istrumento, componesi di un tubo di $2,^{m}4$ ripiegato in due parti che formano il piccolo e il grosso corpo ciascuna di queste porta tre fori davanti ed uno di dietro, ed oltre a questi otto fori ve ne sono altri dieci che si chiudono con altrettante chiavi. Per sonare questo strumento non solo si adopra il bocchino ma si unisce a questo un'ancia che aiuta a far vibrare l'aria. Adesso si usa l'Oficleide (T.II.f.9).

Il Corno da Caccia tubo sonoro contornato in spirale e terminato in largo padiglione, non può produr nelle ottave inferiori che qualche suono e nelle superiori alcune note con diesis, o con bimollè, è utile per suoni strepitosi che rende intelligibili a grandissima distanza, e vuol nella musica una composizione studiata a bella posta. Si suona con un bocchino semplice serrando i labbri e spingendovi il vento per spetezzare colla bocca.

Il Corno da musica ha bisogno di un bocchino, o imboccatura che vuole esser bene studiato per la forma e per le dimensioni dal quale dipende in gran parte il suono che si produce. Il tono che rende naturalmente il corno si chiama *do* allorchè vibra per intiero la colonna d'aria, e variando la velocità del vento si hanno i suoi armonici *mi sol* al di sotto di quest' accordo si farà *si, la* e *sol*, al di sopra si posson produr tutti i suoni per più ottave, in modo che dal *sol* più grave che corrisponde a quello della seconda corda filata del violoncello si hanno verso gli acuti quattro ottave. Non tutti i suoni sortono con egual giustezza, e non tutti restano egualmente difficili al sonatore. La parte del tubo che porta il padiglione ha $2^{m},27$ di sviluppo, il tubo che serve per accordare o per portare il *do* all'unisono con quello di un'altro strumento è di $0^{m},9$, ed entra a fregamento variando la lunghezza della colonna vibrante; l'altro tubo d'aggiunta detto corpo di scambio può esser di diversa lunghezza perchè serve a cambiare il diapason dello strumento, quello per esempio che muta il *do* dello strumento in *fa* è di $1,^{m}4$. La fig. 10 Tav. II. rappresenta uno dei Corni moderni con tre rotelle, le quali servono a prolungare, o ad inter-

rompere il giro dell'aria in tre pezzi che stanno a fregamento per poter obbedire alle accordature. Nel Corno si fa montare più il tuono chiudendo o modificando l'apertura coll'introduzione della mano nella slargatura del padiglione, lo che rallenta assai la celerità dell'aria. La forma conica svasata del padiglione fa cangiare la chiarezza e la pasta del suono, non già l'altezza. In quelli strumenti ove il tubo all'estremo ristringesi il suono è più sordo ed imita di più la voce umana.

Il Trombone è formato da due tubi paralleli che si scorciano o allungano, rientrano a fregamento, e può dirsi il contrabbasso degli strumenti a fiato per la gravità del suono che dà essendo questa dipendente da tutte le circonvoluzioni che ha l'istrumento, e dalla lunghezza dei due tubi paralleli. A questo che chiamavasi tromba duttile ora si sostituisce (Tav. II. fig. 11) la tromba a rotelle, ove sono pure dei pezzi a fregamento per le accordature.

La Trombetta sebbene abbia un suono ingrato pure lo ha esteso potendosi con buon petto levarne più di quattro ottave, e suoni acutissimi. Per il comodo di tenersi con una sola mano si suole usare negli esercizi di cavalleria. Si fan le trombe a chiavi per estenderne i suoni, e con sette chiavi si hanno più di due ottave per semituoni; vengono tali trombe accordate con un movimento del bocchino tirandolo in fuori o in dentro.

Il richiamo che si usa per imitare il suono degli uccelli ha la sua teoria nelle alternative di rarefazione e condensazione d'aria che si fa nel suo recipiente, e l'altezza del suono in esso dipende dalla piccolezza del diametro del foro. Questo piccolo strumento ha meritato maggiormente lo studio dei dotti dacchè si è pensato che l'organo vocale dell'uomo sia ad esso consimile.

32. *Dell'istrumenti a lingua, o ad ancia* — In questi il tubo serve a rinforzare il suono, e il corpo sonoro è una linguetta. Per condizione perciò fondamentale affinchè l'ancia parli bene, e dia un suono pieno, e aggradevole richiedesi che la massa dell'aria del tubo sia tale per la sua forma, e per la sua estensione da mettersi all'unisono con la linguetta. Si son fatti particolarmente negli Organi molti tentativi per produr con questo mezzo dei suoni articolati che imitino la voce umana, ora dando al tubo inferiore forme angolari, rientranti, e con diverse figure; ora facendo il tubo superiore conico allargato, rigonfiato al mezzo, interrotto da membrane, e sparso di lame. Secondo l'esperienze di Weber il suono di un tubo a lingua resulta dalla lama vibrante, e dalla lunghezza del porta vento. Egli suppone che la lama vibri trasversalmente, e la colonna d'aria longitudinalmente, e siccome i corpi che vibrano trasversalmente danno tuono più basso a misura che le loro vibrazioni aumentano d'ampiezza, e quelli che fan vibrazioni longitudinali con variazioni di densità danno suoni più elevati quando la forza aumenta, per conseguenza nei tubi a lingua quando il suono si abbassa o si alza forzando il vento, dipende dal prendere il disopra la linguetta al porta vento, o viceversa, e quando si mantiene costante vuol dire che ambedue le parti dello strumento hanno la medesima influenza in senso contrario.

Le canne a lingua degli organi alle quali si riferiscono le precedenti

osservazioni, si compongono di due tubi aggiustati insieme T T' (Tav. II fig. 12), del tappo B che li separa, e della linguetta A che traversa il tappo, e si forma con i tre pezzi seguenti essenziali. La rigola o tubo di metallo prismatico o semicilindrico chiuso alla parte inferiore, e aperto alla superiore, è forato lateralmente, e con una finestra stabilisce la comunicazione tra i due tubi da una parte all'altra del tappo. La lama vibrante chiude la finestra rammentata, e ne rade le pareti con tre margini liberi, mentre compie le vibrazioni, ed ha il quarto margine fissato alla parete del tubo. La rasetta che è un fil di metallo ben fisso ricurvo alla parte inferiore colla quale preme per tutta la larghezza la linguetta, può farsi scorrere per il tappo quando si vuol cangiare la lunghezza vibrante. Il vento passa nel tubo T pressa la linguetta per aprirsi un passaggio attraverso alla rigola, quella vibra al suo passaggio nel tubo T'. L'intensità del suono cresce col crescere della corrente; l'altezza del suono dipende dalla posizione della rasetta, e per rendere il suono più acuto serve diminuire la lunghezza della parte libera, o abbassare la rasetta. Gli ordinari tubi a lingua hanno un suono disaggradevole cagionato dal battere della lama contro le pareti dell'orifizio; devono le linguette essere un poco più strette dell'apertura.

La linguetta più semplice si compone della lama vibrante che chiude un'apertura in lastra metallica con viti applicata ad un pezzo di legno ove è una piccola camera che fa da porta vento, o a qualche tubo ove si dirige il vento. Si complica questo strumento disponendo una serie di linguette in scala diatonica, ed allora si ha la Fisarmonica. La quale può ingrandirsi col mandare il fiato alle linguette mediante un mantice da muoversi a mano, o ancora maggiormente muovendo il mantice con un pedale ed i condotti del fiato coi tasti di una tastiera. Si accoppiano nella Fisarmonica per ogni tuono due linguette, una coperta da una valvula di pelle per un lato, e l'altra coperta dalla valvula per il lato opposto, ed in tal modo si ha suono tanto al chiudere quanto all'aprire il mantice.

L'imboccatura dell'oboè, e del clarinetto non sono che linguette diversamente poste ove la pressione dei labbri tien luogo della rasetta. Nel clarinetto il tubo dell'istrumento si termina in un becco (T. II. f. 12) che ha una faccia con lembi piani e incavata ma chiusa da una lamina sottile di canna. La lamina è ritenuta alla base aderente al tubo con una legatura di filo, o con un'anello che si serra con viti. Si spiana la linguetta di canna grossa per circa un millimetro, con lunghezza e larghezza quanta è la fessura sulla quale deve posare: si fa un piccolo segno ove deve rimanere la legatura, e con un temperino si assottiglia di più in più verso l'estremità del becco e principalmente sui lati. Togliendo troppo legno verso la base il suono è disaggradevole, ma alle estremità deve divenire per sottigliezza quasi trasparente. L'umidità, e il calore han molta influenza per alterare il grado di bontà della lingua, e col mezzo dell'anello si cambia più facilmente, che colla legatura, una linguetta che può esser guasta o gonfiata per l'umidità. Più il suono deve essere acuto, e più conviene serrare il becco co' labbri facendosi così più rapide le vibrazioni. Il suono dato dal becco

fuor del clarinetto è penetrante, e rimane addolcito è soggettato anche alle leggi di vibrazione dell'aria nel tubo. Questo è di 15 millimetri in diametro, ed all'estremità porta un'allargamento o padiglione di 55 millimetri. Tutto lo strumento è lungo circa 70 centimetri, e porta 13 fori chiusi da chiavette. Tali fori secondo che sono aperti o chiusi frazionano diversamente la colonna d'aria che vibra, e danno suoni differenti nella scala diatonica. Hanno 6 millimetri di diametro, e sono svasati internamente pel più facile passaggio dell'aria; e il costruttore ritocca ed obliqua questo svasamento finchè non ottiene la giustezza del suono, giacchè il pregio dello strumento dipende specialmente da questa conveniente conformazione dei buchi. E sebbene la colonna d'aria contenuta nel tubo può essere assomigliata ad una corda sonora pure il costruttore destina i luoghi dei buchi dietro i modelli che li servano di termine di confronto, dovendosi obbedire anche alla linguetta. Infatti fra le tante note che si fanno sul clarinetto ve ne sono di quelle che non escono giuste e chiare, e dipende dall' abilità del sonatore il porre convenientemente le labbra sulla linguetta per toglier loro il difetto. Sonovi clarinetti fatti sovra altre proporzioni, ed io non ho citato le precedenti che per indicare i principj scientifici dello strumento. Per molto tempo si usavano clarinetti a sei chiavi. Muller li ha ridotti a 14 come si usano al dì d'oggi (Tav. II fig. 14).

53. *Apparati d'acustica per mantenere intenso il suono.* — Ognun sa che introducendosi negli orecchi l'estremità d'una corda mentre si tengono pendenti e legate al mezzo di essa le molle da camminetto e si van battendo, intendesi un suono come di una gran campana. Egualmente che la corda mostra grande attitudine a trasmettere i suoni il legno fibroso: se un individuo avvicina l'orecchio ad una estremità di un regolo di abeto lungo da 20 a 25 metri intenderà il rumore che si potrà fare all'altra estremità appoggiando leggermente una spilla o una piuma, o parlando sotto voce. Lo stetoscopio che usano i medici per riconoscere i suoni che si fanno entro al petto e per far diagnosi è basato su questo principio.

I tubi impediscono che la intensità del suono si propaghi in sfera e perciò decresca come i quadrati delle distanze (24). Di qui l'uso dei tubi quando si vuol mantenere la intensità del suono, o condur la voce da un punto all'altro molto distanti. Si usano dei tubi di latta per trasmettere la voce e gli ordini proferiti sommessamente, da un piano all'altro di un palazzo facendoli alle estremità un' abboccatura ove possa presentarsi la bocca di quello che parla, e l'orecchio di quello che ascolta.

Si conserva l'intensità del suono anche per comunicazione di movimento. Certi suoni della voce si aumentano d'intensità col pronunziarli davanti a vasi aperti che hanno conveniente grandezza. Per produr questo fenomeno con più regolarità ha imaginato Savart di unire due tubi con un decimetro circa di diametro, e tre decimetri di lunghezza insieme a fregamento come un canocchiale, aperti o chiusi ad un'estremo, e di far, allungandoli o accorciandoli, variare a volontà la colonna risonante fino ad ottenerne il massimo effetto. Il suono che si ottiene ha una forza o chiarezza sorprendente a chi lo ascolta

per la prima volta. Quando il tubo è largo e corto rinforza suoni vicini di diversa intensità; e quando è lungo e stretto non si presta che a suoni determinati e armonici.

34. *Degli strumenti che aumentano l'intensità del suono per riflessione.* — La tromba parlante per farsi sentire da lontano, e il corno acustico per facilitar l'udito ai sordastri sono basati sulla riflessione, della quale noi parleremo ritenendo che i raggi sonori sieno riflessi per linee rette, e facciano l'angolo di riflessione eguale a quello d'incidenza.

La più semplice, e forse la miglior tromba parlante si compone di un tubo in forma di cono troncato AB, (Tav. II fig. 15) al quale si adatta per comodo un'imboccatura in A, ed un piccolo padiglione in B. I raggi sonori che dalla bocca di chi adopra lo strumento si insinuano per l'apertura più stretta sono riflessi dalle pareti in guisa che gli angoli di riflessione, eguali sempre a quelli di incidenza, van vie più diminuendo; e si riducono ben presto paralleli all'asse del cono come accenna la figura. Un'altra tromba parlante da unirsi all'estremità dei lunghi tubi è formata da una paraboloide il cui fuoco cade nell'estremità dell'asse del tubo. La voce venendo per esso fino alla sua estremità si riflette secondo la proprietà della parabola per linee parallele al suo asse. Con queste trombe si può intendere una voce anche più che 15 e 16 volte a maggiore distanza di quello che si oda ordinariamente.

Eguale alla costruzione delle trombe parlanti ora descritte è quella del corno acustico se non che in questo il tubo si fa per comodità alquanto curvo, ed i raggi sonori di colui che parla andando sensibilmente paralleli ad urtare nelle pareti del corno acustico: se esso è in forma di paraboloide si concentrano nel fuoco, e di là per il tubo si porta la voce all'orecchio (Tav. II fig. 17). Se è in forma di cono si portano con successive riflessioni concentrati all'orecchio (Tav. II fig. 16).

35. *Spiegazione degli echi.* — Si pronunziano distintamente tre sillabe in 1", e in questo tempo si distinguono anche nove suoni. Il suono in 1" percorre 337^m nell'aria in quiete (un vento trasversale non ha alcuna influenza sulla celerità del suono, e sebbene i venti che han direzione concorrente o opposta possano alterarla, piccolo ne è l'effetto per esser piccolissima la celerità del vento rapporto a quella del suono) per conseguenza essendo una superficie riflettente distante da colui che parla della metà, cioè 168^m, e normale alla direzione, di tal distanza si intenderebbero distintamente per suono riflesso tre sillabe, ed anche i nove suoni, ed in ciò consiste l'eco. Onde per generare confusione serve anche un eco distante di 19^m, e per avere ripetuta la sillabe distante di 56^m. Una superficie riflettente alla distanza $\frac{1}{2}$. 337 = 168^m; 5 rimanderà ripetute le sillabe pronunziate all'orecchio di colui che parla un 1" dopo che erano uscite dalla bocca. Questa differenza di tempo sarebbe troppo piccola; che se la superficie fosse distante del doppio la differenza di tempo verrebbe doppia, cioè se fosse di circa 340^m giungerebbe l'eco 2" dopo aver principiato a parlare, e pronunziate in questo tempo sei sillabe, potrebbero tutte essere ripetute. Si trovano anche degli echi che ripetono 14 sillabe.

Una superficie parallela ad un'altra può far sì che più volte i raggi sonori vadano da una all'altra per riflessione, e l'uditore frapposto sentirà un'eco ripetuto più volte; simili echi multipli possono aversi anche da superficie, poste a differenti distanze dall'uditore. Di questo genere sembrami il bellissimo eco che si ha presso il getto del Duomo di questa città stando rivolti al Campo Santo.

Non può trascurarsi di osservare che la superficie riflettente può essere anche scabrosa ed irregolare, ed anche in mare una vela di un bastimento, ed in una foresta un'insieme di alberi, ed eziandio una nuvola. Come pure gli strati aerei di diversa densità prodotti dall'azione solare, e dalle evaporazioni posson dar luogo a delle difficoltà per il passaggio dei raggi sonori, ed ancora per la formazione degli echi.

36 *Osservazioni per fare nelle sale dei punti risonanti, e per diffondervi con uniformità i suoni.* - Supponiamo che si abbia una sala ovale e precisamente con le pareti in figura ellittica (Tav. II. fig. 18): un'individuo collocato in un fuoco F sarebbe benissimo inteso ancorchè parlasse sotto-voce da un'altro che fosse nel fuoco F' perchè tutti i raggi sonori FM, FM', FM", FM"', FM"" che vanno alla curva sono per la proprietà dell'elisse riflessi nell'altro fuoco F' della curva; mentre potrebbe anche non essere inteso da un'altra persona che li fosse molto più prossima. Or supponiamo che si abbia una stanza di figura circolare, e un'individuo parli sotto voce prossimo alle pareti, potrà questo esser bene inteso da altra persona che sia anche alla parte diametralmente opposta purchè rimanga prossima al muro, e non da una che li sia dappresso, perchè riflettendosi il suono nella direzione delle corde del circolo va come lambendo le pareti del muro. Notissima è la galleria interna della cupola di S. Paolo in Londra ove riscontrasi marcatissimo questo fenomeno. Fenomeni consimili possono aversi in stanze che abbian le volte in figura ellittica, o sferica, e la storia ci dice che il tiranno Dionigi spiava con simili modi i sentimenti dei detenuti. Producono queste curve dei punti sonori e dei punti sordi. Possono aversi tali punti anche in sale rettangolari, nelle quali quando siano molto vaste per quello che ho detto della tromba parlante si comprende che un'individuo stando in un'angolo della stanza potrà essere facilmente inteso da colui che è nell'angolo opposto. Le figure paraboliche e coniche sono le preferibili per diffondere con uniformità la voce di un cantante o di un'oratore che stia presso il fuoco della curva, o presso il vertice del cono. Quindi una sala rettangolare con volta a botte e senza sporgenze o incavi che termini con un'ampia nicchia in forma di paraboloide, nel fuoco della quale stia l'oratore sarà ben sonora.

Nel teatro devono conseguirsi altri fini oltre la diffusione del suono. Non può esservi un sol fuoco dal quale han da partire le voci, e deve studiarsi la curva delle pareti per modo che sia dai palchetti libera la vista del proscenio. Gli antichi secondo Vitruvio usavano di rendere sonori i loro teatri, immensi ed intieramente aperti al di sopra, per mezzo di grandi vasi di rame quà e là collocati nel recinto, ma poco si comprende il vantaggio di questo metodo. Certo è che all'arco del proscenio più che a qualunque altra

parte devesi la riflessione e diffusione dei raggi sonori. L'essere quello policentrico e piatto fa che il cantante può egualmente sentirsi da più punti del proscenio. Egualmente una volta bassa e piatta, ed una sezione più ristretta nelle parti più lontane, cagionano uniformità nella diffusione del suono.

Le masse dell'aria possono secondo le loro disposizioni molto alterare i suoni. Le parti di una stanza molto sporgenti ed incavate li indeboliscono: i soffitti a cavalletti che si usano nelle Chiese rendono peggio l'armonia dell'organo: una volta molto elevata produce degli echi ritardati che smorzano il suono diretto. Ad impedire le diffusioni troppo grandi, e ad affaticar meno chi parla, si tira non molto alto sopra il capo di questo un telone che a guisa di soffitto fa che l'aria fermata rifletta la voce.

CAPITOLO III.

Leggi sul movimento dei fluidi aeriformi, ventilatori, e macchine soffianti.

Efflusso da un foro.

37. *Forza e celerità d'egresso da un foro* — La forza che ha un fluido per escire dall'apertura di un vaso proviene dalla differenza tra l'elasticità del fluido che è all' interno del vaso, e la pressione o elasticità che questo incontra all'esterno. Indichiamo con p l'altezza barometrica che misura questa differenza di pressione. Il fluido aeriforme escirà colla stessa velocità v con la quale escirebbe un liquido che avesse egual densità, e che soffrisse all' orifizio egual pressione p. Ma questo liquido per produrre col suo proprio peso questa pressione sulle particelle collocate all' orifizio, dovrebbe avere un'altezza a al di sopra dell'orifizio, tanto più grande dell'altezza barometrica p, quanto la densità d del mercurio è maggiore di quella d' del fluido elastico. Onde (*Idr.* 53) avremo

$$v = \sqrt{2ga} = \sqrt{\left(2gp\,\frac{d}{d'}\right)}$$

E siccome a è l'altezza dovuta alla velocità, cioè un grave caduto dall' altezza a acquisterebbe la velocità v, perciò quando si dice altezza dovuta alla velocità dell'aria, si intende l'altezza di una colonna d'aria della sua propria densità capace a fare acquistare ad un grave la velocità dell'aria. E quando dall'altezza dovuta si vuol passare all' altezza barometrica che produrrebbe la pressione data dal peso di quella colonna d'aria, convien moltiplicarla per il rapporto tra la densità del mercurio, e quella dell'aria, e viceversa si opererà per fare il passaggio inverso (*Idr.* 6).

Il mercurio ha per peso specifico in ogni metro cubo 13599^{k} che terremo come costante alle diverse temperature, e (8) l'aria

$$\frac{1.709\,(P+p)}{1+0{,}004\,t}$$

ove P può rappresentarci la pressione esterna al vaso, e p l'eccesso dell'interna. Onde è

$$\frac{d}{d'} = \frac{13599(1+0{,}004t)}{1{,}709(P+p)} = 7955\,\frac{(1+0{,}004t)}{P+p}$$

e l'aria che sia premuta con pressione $P+p$ nell'interno di un vaso, e con pressione P all'esterno escirà colla velocità

$$v = \sqrt{\left(2gp\,\frac{7955\,(1+0{,}004.t)}{P+p}\right)}$$

$$= 395\,\sqrt{\left(\frac{p}{P+p}\times(1+0{,}004t)\right)}$$

E se tratterassi di un fluide qualunque, essendo il suo peso dato dalla formula

$$\frac{1,709\,(P+p)}{(1+mt)}\,\delta$$

ove m è il coefficiente di dilatazione, e δ rappresenta la di lui gravità specifica rapporto a quella dell'aria, ne viene che la velocità d'efflusso sarà

$$v = 395\sqrt{\left(\frac{p}{(P+p)\delta}(1+mt)\right)}$$

Sempre la velocità è in ragione sudduplicata inversa della gravità specifica del gas.

Si voglia sapere con qual velocità escirà un gas nel vuoto. Fatto $P = 0$ abbiamo

$$v = 395\sqrt{\frac{1+mt}{\delta}}$$

cioè la velocità sarà indipendente dalla pressione. Queste considerazioni valgono anche quando la compressione interna è grandissima rapporto a quella esterna. Alla temperatura zero per l'aria riescirà di 395^{m} al $1''$. Così chiudendo dell'aria in un vaso, e comprimendola

1, 2, 3... 100 *atm.*

quando si lasci escire per un foro nel vuoto, la velocità per tutto il tempo che dura l'efflusso (supposto che potesse mantenersi il vuoto) sarebbe sempre la stessa; non già la quantità del fluido escito in un dato tempo giacchè essa è proporzionale alla densità. La celerità di rientrata nel vuoto è stata trovata dai signori Barret e Vanzel di soli 192^{m} pure è da ritenersi che questo ritardo fosse dovuto alla resistenza delle pareti del tubo facendosi il moto per piccolissimi orifizj.

Poniamo ora che si abbia

$$P = 0,76,\ t = 12^{\circ}$$

e p trascurabile a confronto dell'atmosfera, cioè esca l'aria da un vaso ove è pochissimo compressa alla temperatura ordinaria, avremo

$$v = 395\sqrt{\frac{1,046}{0,76}\times p} = 542\sqrt{p}$$

E sotto la pressione di 4 centimetri avrebbe una velocità di $108^{m},4$ per $1''$ cioè molto grande e superiore a quella di un qualsivoglia vento.

38. *Resultati d'esperienze, e vena contratta* — Nella teoria esposta si è ritenuto che il gas agisca come un liquido della stessa densità, e nulla di particolare si è attribuito alla mobilità, elasticità, e compressibilità dei gas. Quindi sentesi il bisogno di veder confermate queste dottrine dalle esperienze. Lagerhyielm nel 1822 sperimentò sull'aria atmosferica che esciva da orifizj praticati in lastra sottile, adoprando un gazometro che dava la misura della pressione sotto la quale esciva quel gas, e misurava il volume dell'aria escita. Fatto il confronto fra l'aria e l'acqua che escivano sotto egual pressione da fori eguali, ritrovò che il volume dell'una stava al volume dell'altra

:: 100 : 2875,

e prossimamente :: $1 : \sqrt{800}$, cioè come la ragione inversa delle radici quadrate delle densità de'due fluidi. Ciò è conforme alla teoria sopra esposta, giacchè il liquido meno pesante deve avere altrettanto maggiore altezza per produrre egual pressione, e la celerità sta in ragion diretta della radice quadrata di quest'altezza.

Nel 1826 D'Aubuisson fece altre esperienze con simil metodo che parimente confermarone la teoria, e che mostrarono aversi per i gas come per i liquidi una contrazione di vena che si rende visibile mescolando l'aria con fumo. Dai fori circolari in lastra sottile li resultò la media del coefficiente d'efflusso in 0,65,

e più del 0,62 che aveva trovato il rammentato dotto svedese. Ecco le medie da D' Aubuisson ottenute

Diametro dell' orifizio	Altezza manometrica	Coefficient. d' efflusso
$0^m,01$	da $0^m,144$ a 0,286	0,650
0,015	„ 0,028 a 0,122	0,652
0,02	„ 0,027 a 0,060	0,646
0,03	„ 0,027 a 0,050	0,675

39. *Effetto de' tubi addizionali* — Lo stesso autore ha studiato di quanto cresca la portata quando si fa il foro in lastra grossa, o si adopra un tubo addizionale. Un tubo cilindrico riduce il coefficiente d' efflusso a 0,93 come mostra la media di questi resultati dal suddetto ottenuti

Diametro del tubo	Lunghezza del tubo	Altezza manometrica	Coefficient. d' efflusso
$0^m,01$	$0^m,04$	da $0^m,027$ a 0,141	0,934
0,015	0,045	„ 0,027 a 0,120	0,924
0,02	0,06	„ 0,028 a 0,096	0,916
0,03	0,08	„ 0,025 a 0,039	0,935

Poco superiore può ritenersi essere il coefficiente nei tubi conici divergenti, e non eguale per tutti gli angoli di convergenza. Gettando gli occhi sovra i seguenti resultati ottenuti parimente dal D' Aubuisson, si scorge il vantaggio dei tubi molto corti, e poco convergenti.

Angolo di conv.	Lungh. del tubo	Altezza manometrica	Coeffic. d' efflusso
6°26'	1,045	da 0,028 a 0,096	0,938
15 30	0,04	„ 0,050 a 0,120	0,927
18 54	0,045	„ 0,028 a 0,120	0,917
55 8	0,045	„ 0,028 a 0,120	0,798
11 24	0,025	„ 0,028 a 0,120	0,947
26 4	0,010	„ 0,028 a 0,120	0,880

Nella pratica si usano le bocche delle soffierie foggiate a tubi allungati e convergenti ad angolo acuto, e perciò vi si potrà adottare un coefficiente di 0,94, e per maggior sicurezza atteso l'essere assai lunghi anche 0,93.

40. *Portata dell'aria in volume, e in peso* — Nei fluidi adunque, come per i liquidi (*Idr.* 162), converrà alla portata aggiungere il coefficiente d' efflusso, ed indicandola con Q_1, mentre sono v, T, S, la velocità respettivamente, il tempo, e la sezione del foro, avremo per un' orifizio in parete sottile $Q=0,65.\,STv$ corto tubo cilindrico $Q=0,93.\,ST_1v$ corto tubo convergente $Q=0,94.\,STv$

Per i tubi delle soffierie o porta vento che sono di sezione circolare essendo $S=0,785.\,d^2$, (rappresentato con d il loro diametro all' uscita), e 395,093:0,785 = 288,57 avremo

$$Q=288,4d^2T\sqrt{\left(\frac{p}{P+p}(1+0,004t)\right)}$$

Nel volume dato in tal modo si considera l' aria alla densità che ha nell' interno del recipiente, cioè sotto la pressione $P+p$, ma ordinariamente si vuole alla pressione atmosferica $0^m,76$, e perciò converrà moltiplicarlo per il rapporto tra queste due pressioni ed otterremo

$$Q_1=\frac{288,4}{0,76}d^2T\sqrt{\left(p(P+p)(1+0,004t)\right)}$$

$$=380d^2T\sqrt{\left(p(P+p)(1+0,004t)\right)}$$

Le quantità P, t possono aversi nelle applicazioni per costanti, e per i nostri paesi la media può fissarsi a $P=0^m,75, t=15°$, onde

$$Q_1=380d^2T\sqrt{1,06\,(p^2+0,75p)}$$

$$=387,6d^2T\sqrt{(p^2+0,75p)};$$

$$Q'=Q_1\pi=465,4\,d^2T\sqrt{(p^2+0,75p)}.$$

La prima formula dà in metri cubi il volume dell' aria sotto la pressione atmosferica, e la seconda in kil. ne assegna il peso, avendosi $\pi=1^k,22$.

Applicazione. — Qual deve essere l'altezza della colonna di mercurio nel manometro onde esca $0^k,5$ da un porta—vento del diametro $0^m,04$? Per la formula di sopra avremo $0^k5 = 463,4 \times 0^m,0016 \sqrt{(p^2+0,75p)}$. ed elevando a quadrato

$$0,67 = p^2 + 0,75\, p,$$

risolvendo l'equazione

$$p = -0,38 + \sqrt{(0,67-0,14)} = 0^m,36$$

cioè la pressione interna del recipiente deve superare l'esterna per quasi mezza atmosfera.

41. *Portata e peso di un qualsivoglia fluido*. Poichè la velocità è

$$v = \sqrt{2gp\,\frac{d}{d'}}$$

e le portate stanno come la velocità, indicando con Q_2 la portata di un fluido aeriforme differente dall'aria, e con d'' la sua densità, avremo

$$Q_1 : Q_2 :: \sqrt{d''}\ \sqrt{d'}$$

cioè

$$Q_2 = Q_1 \sqrt{\frac{d'}{d''}} = 387,6 d^2 T \sqrt{\frac{d'}{d''}(p^2+0,75p)}$$

i pesi essendo proporzionali alle densità moltiplicate per i volumi, chiamato Q'' il peso del gas avremo

$$Q' : Q'' :: d'Q_1 : d''Q_2$$

cioè

$$Q'' = Q'\,\frac{d''Q_2}{d'Q_1} = Q' \sqrt{\frac{d''}{d'}} =$$

$$463,4\, d^2 T \sqrt{\frac{d''}{d'}\,(p^2 + 0,75p)}$$

Se trattasi di gas idrogene carbonato da illuminazione, porremo

$$d'' = 0,559$$

e poichè è prossimamente

$$\sqrt{\frac{1}{0,559}} = 1,34;\ \sqrt{0,559} = 0,74$$

poirem dire essere il volume del gas da illuminazione che esce da un foro sotto eguali condizioni un terzo più di quello dell'aria, ed il peso un quarto di meno.

42. *Gasometro* — Questa macchina si adopra per raccogliere il gas in determinata quantità, e per farlo fluire sotto determinata pressione. Consiste in un tino A di lamiera colla sua apertura capovolta (Tav. III. fig. 1) e sommersa nell'acqua. Un'incavo fatto di muramento circolare BB, o anche di lamiera se la macchina è piccola, è ripieno di acqua fino ad una data altezza ed ha due tubi verso il centro, uno per fare entrare il gas nel gazometro, e l'altro per dirigere il fluido ove richiedesi. Il gas che è nella capacità A soffre una pressione dovuta alla differenza di livello che ha il liquido nell'interno del Gazometro A, ed all'esterno di esso nell'incavo BB. Questa pressione può aversi anche misurata da un manometro posto a tale oggetto, e allora suol darsi altra forma al Gazometro. I due rammentati tubi devono star sempre colla sua apertura interna al di sopra del livello dell'acqua interna, e ripiegati al fondo dell'incavo o fossa possono poi venire all'esterno ove hanno la chiave che li apre e li serra, e portano le aggiunte che occorrono secondo l'uso che vuol farsi del Gazometro. Il peso del tino è per la massima parte equilibrato dai contrappesi che pendono dalle catene, le quali si collegano al centro del suo fondo. Ed il residuo di peso serve a dare al gas la tensione che vuolsi superiore a quella dell'atmosfera, e può anche misurarla, ed'ordinario tiene di pochi centimetri elevata l'acqua dell'incavo al di sopra di quella che è sotto al recipiente. Pure questa piccola pressione farebbe escire il gas con gran velocità se non le si opponessero altre resistenze. Nei Gazometri per l'illuminazione si prende una pressione che sopravanzi di poco la resistenza opposta dai condotti colla loro lunghez-

ta, e se ne toglie o modera l'eccesso per mezzo del rubinetto che rimane alla diramazione del tubo presso la dispensa. Avrebbe il Gazometro maggior pressione quanto è più pieno per il maggior peso che acquista nell'emergere dall'acqua, ed il gas ne escirebbe con diversa velocità secondo che è più o meno pieno. Si toglie peraltro questo difetto con più catene di compensazione le quali aumentano il peso della macchina quando è bassa, e lo scemano quando si alza per il loro pendere alla parte opposta delle carrucole. Può servire a tal uopo un sifone che porti acqua in un vaso sul gazometro a proporzione che esso si abbassa. Il peso P che rimane al Gazometro per gravitare sull'acqua dà il peso del volume fluido discacciato: onde indicato con D il diametro del Gazometro, ed x l'altezza in metri che ha l'acqua per produrre la tensione nel gas, avremo

$$1000.x\ {}^1/_4\ \pi D^2 = P$$

cioè

$$x = \frac{P}{785{,}4.\ D^2}$$

Celerità in una corrente di fluido aeriforme.

43. *Celerità nei gas derivata dalla minor gravità che hanno rapporto al mezzo in cui sono posti.* — Allorchè si ha un gas più leggero in mezzo ad uno più pesante, o una massa d'aria più calda di quella che la circonda, dovrà il primo gas, o l'aria calda sollevarsi colla forza dovuta alla differenza dei due pesi specifici. Lo stesso ha luogo quando l'aria calda è contenuta in un tubo verticale aperto alle due estremità, e si ha all'esterno aria fredda, giacchè è come se si avesse un tubo ricurvo a sifone rivolto in alto che in una branca contenesse aria fredda, e nell'altra di eguale altezza contenesse aria calda. Chiamisi P la pressione atmosferica alle due aperture del tubo che ha una qualsivoglia determinata sezione; e indicate con p p' le pressioni o pesi delle colonne verticali delle due arie fredda e calda si avrà dall'estremo inferiore la colonna aerea calda premuta per P + p di basso in alto, ed ivi pure ripremuto lo strato da P+p' in direzione opposta. Onde la differenza che è $p - p'$ sarà la pressione colla quale la colonna d'aria fredda caccia la calda. Il peso p dell'aria fredda maggiore di p' può supporsi che provenga da aria calda di un'altezza che superi di una quantità a quella del nostro tubo: allora scorgesi che la velocità che acquisterà l'aria calda è $v = \sqrt{2ga}$. Per determinare a si indichi con t la temperatura dell'aria fredda, e con t' quella della calda: sia A l'altezza del tubo. Quando una colonna d'aria dell'altezza A′ ridotta dalla temperatura di o a quella t divenisse A si avrebbe A = A′ + A′mt, cioè

$$A' = \frac{A}{1+mt}$$

e quando quella A′ fosse portata alla temperatura t' divenendo A + a si avrà

$$A + a = A' + A'mt' = A\frac{1+mt'}{1+mt}$$

e perciò

$$a = A\left(\frac{1+mt'}{1+mt} - 1\right) = A\frac{m(t'-t)}{1+mt}$$

ove trascurato rapporto all'unità mt si ha per altezza e per la velocità

$a = Am(t'-t)$, $v = \sqrt{2gAm(t'-t)}$

Poniamo che la colonna d'aria calda abbia 6^m d'altezza, e l'aria esterna sia a 10°, mentre l'aria calda è a 100° la celerità sarà

$$v = \sqrt{(19{,}6.6.\ 0{,}004(100-10))} = 6^m{,}5.$$

Non abbiamo avuto riguardo al diametro e all'altezza del tubo perchè delle resistenze provenienti da queste cagioni parleremo in seguito.

Per dire anche dell'effetto di un gas diverso, riterremo che l'aria che ponesi in movimento abbia servito alla combustione del carbone, ove l'ossigene è trasformato in gas acido carbonico. In quest'aria rimangono il gas azoto che ha per gravità specifica 0,9757, ed il gas acido carbonico la di cui gravità specifica è 1,5245; e i due componenti staranno nel rapporto 79 : 21. Perciò la densità del meseuglio sarà

$$\frac{79 \times 0,9757 + 21 \times 1,5245}{100} = 1,09$$

Nei cammini insieme con quell'aria che ha servito alla combustione sfugge presso a poco altrettanta aria inalterata. Per cui trascurato l'effetto delle materie incombuste che sfuggono con quella, può ritenersi per 1,045 la densità media del fluido che serve per il cammino, e perciò la sua velocità sarà

$$v = \sqrt{\frac{2g\,Am\,(t'-t)}{1,045}}$$

ovvero con maggiore esattezza

$$v = \sqrt{\frac{2g\,Am\,(t'-t)}{1,045\,(1+mt)}}$$

Applicata questa seconda formula all'esempio precedente ci darebbe $v = 6^m,24$ lo che mostra una sola differenza di $^1/_{26}$ circa, per cui nella pratica possono trascurarsi le correzioni della differenza dei gas, e della seconda formula, e può usarsi per i cammini la formula prima, trascurato il denominatore.

44. *Apparato per misurare la velocità dei fluidi.* — Combes ha fatto uno strumento a rotazione comodo per misurare la velocità del fluido aeriforme nel quale la formula $v = a + bN$, assegna la relazione tra la velocità v e il numero N dei giri essendo a,b, quantità costanti da determinarsi convenientemente allo strumento. Questo componesi di un asse delicatissimo A (Tav. III. fig. 2) terminato da due perni finissimi che girano in buchi in agata B. Su questo sono montate quattro ali CCCC inclinate ad un determinato angolo sul piano normale all'albero. Al mezzo di questo è una vite perpetua a la quale conduce la ruota D che ha 100 denti. L'asse della medesima è munito di un chiavello b che ad ogni giro della ruota, o dopo 100 giri delle ali agisce sulla ruota E di 50 denti avanzandola di un dente. Essa è ritenuta da una molla flessibilissima attaccata alla base; sui perni C è montato lo strumento. Le due ruote portano i numeri come se fossero mostre, e può conoscersene la posizione dagli indici H H' che sono fissi alla coscia I, ed anche può conoscersi il numero delle rivoluzioni dell'asse A. Per mezzo di un ritegno K mosso da due cordicelle LL si può impedire il moto delle ali, o lasciar che segua liberamente sotto l'impulso della corrente d'aria che le investe. Nel servirsi dello strumento si pongono le ruote che faccian corrispondere il principio della divisione agli indici, e si colloca lo strumento stesso sopra un sostegno nella sezione trasversale del canale ove si muove l'aria con l'asse delle ali nella direzione della corrente, mentre il ritegno K ne impedisce il moto. Si rimuove poi il ritegno K, e si lascia in azione lo strumento per due o tre minuti: si ferma il moto, e si legge dalla posizione degli indici il numero dei giri che ha fatti l'asse A: e si applica nella formula quello resultato per dedurne la velocità. Comprendesi dalla descrizione e dal-

la figura che, tranne la maggiore agilità, e delicatezza dello strumento, esso è analogo al mulinello di Woltman, e può questo essere in alcuni casi adoprato in luogo dell' altro di Combes, e perciò anche in questo con modo (*Idr.* 146) analogo a quello che si disse in idraulica se ne determineranno le costanti.

45. *Rose dei venti* — È noto che dalla direzione prende nome il vento, e la direzione si assegna con i punti cardinali come ben mostra la fig. 3 della Tav. III presentando la rosa con 32 venti. Corrispondenti sono i seguenti nomi dei venti cardinali, e dei collaterali di primo ordine, dai quali si formano i nomi per i venti collaterali di second'ordine, e per le quarte.

N.O. Maestro
Ovest Ponente
S.O. Libeccio
Sud Austro
S.E. Scirocco
Est Levante
N.E. Greco
Nord Tramontana

Hanno questi venti differente effetto per le applicazioni a seconda dei diversi paesi. Da noi la tramontana porta il tempo sereno e freddo, e i venti australi portano l'umido e il caldo, venendo l'uno dalle regioni più fredde e dal continente, e gli altri dalle più calde e dal mare. Il libeccio è impetuoso e reca spesso piogge, lo scirocco è più calmo e più ostinato nell' umidità, e nelle piogge, e nell' estate è spesso caldissimo. Il maestro per Pisa principalmente essendo periodico è nell'estate refrigerio, e acquista il massimo della forza al mezzo del giorno. In Pisa quasi mai si ha la vera tramontana convertendosi essa in greco, e così secondo la disposizione dei monti prendono le correnti aeree differenti direzioni. Nella loro variabilità i venti hanno un determinato modo di succedersi. Nel nostro emisfero il vento sud, non suol cangiarsi in nord seppur non passa per l'ovest; e il nord in sud se non passa per l'est. Segue il contrario nell'altro emisfero: onde tra noi è quasi proverbio, che nei tempi piovosi quando regnano venti australi, *la tramontana non si sveglia se libeccio non la desta*.

Il Barometro ha molta relazione ai venti colle sue indicazioni, ed è stato osservato che ogni gran depressione barometrica in un luogo, viene accompagnata da una corrispondente elevazione agli antipodi, o almeno in altro luogo. Dal che deducesi che le grandi differenze di pressione atmosferica devono esser prodotte da grandi movimenti nell'oceano aereo. Nell' aria accade come nell'acqua, ove la pressione si fa minore (*Idr.* 101) a misura che cresce la velocità del movimento. Se il vento è impetuoso e subitaneo sempre il barometro si abbassa. Se poi il vento prende forza a gradi, il barometro acquista il suo *maximum* quando i venti soffiano dal Nord, e dall'interno de continenti; il suo *minimum* quando essi vengono dall' equatore o dal mare. L' aria raffreddata dai venti del Nord si condensa, i limiti dell'atmosfera si abbassano, e l'aria calda affluisce da ogni parte: quindi l'elevazione del barometro. Al contrario riscaldata l'aria per i venti Sud si inalza, si espande sopra all' atmosfera nelle regioni circonvicine, mentre in quella si ha diminuzione di pressione, e abbassamento di barometro. Si suol fare una rosa barometrica per i venti indicando nelle ordinate polari di cur-

ve che si allontanano più o meno da un centro le altezze barometriche secondo i diversi venti per le differenti stagioni dell'anno, o presa una media per l'anno. Quella che riporto nella fig. 4 Tav. III rappresenta la rosa per Parigi in doppia grandezza naturale per l'eccesso dell'altezza barometrica sul numero costante $0^m,75$, e le curve p, e, a, i, A sono respettivamente per la primavera, estate, autunno, inverno, e la media per l'anno.

46. *Celerità e forza del vento* — Differenti cagioni hanno i venti, e fra tutte la più frequente è l'azion calorifica dei raggi solari, che scaldando l'aria in un luogo fa che si elevi e diminuisca di densità, e sia rimpiazzata dall'aria meno calda dei luoghi circonvicini. I grandi fenomeni elettrici, la condensazione dei vapori al mescolarsi di un'aria più fredda, con una più calda, il freddo cagionato per le piogge abbondanti o per le nevi ec. dan pure spesso luogo a degli sbilanci nell'elasticità dell'aria, per cui accorre l'atmosfera nel luogo ove la tensione è minore. Eccitato il movimento nell'aria si può per comunicazione continuare in una determinata direzione che vien data dalle vallate e dai monti: come per comunicazione di moto si ha una corrente d'aria cagionata dalle correnti delle acque nei fiumi. Coulomb otteneva la celerità del vento facendo volare delle piume leggerissime, e misurando lo spazio percorso e il tempo, e trovava che i venti più ordinari del continente, percorrono da 5 a 9 metri 1". Per dare un'idea della celerità in 1" del vento la fissiamo nei seguenti numeri

Vento appena sensibile	$0^m,5$
» sensibile	1
» moderato	2
Venti alisei	da 2,6 a 3,2
Vento assai forte	5,5
» che tende bene le vele.	6
» il più conveniente ai mulini	7
» bonissimo pel viaggio di mare	9
» forte	10
» che fa serrare le alte vele	12
» fortissimo	20
» di tempesta	22,5
» di gran tempesta	27
Oragano.	36
Oragano che schianta gli alberi e rovescia le case	45

Questa gran potenza nei venti molto celeri è ben facile a concepirsi: un metro cubo d'aria a 20°.C peserà $1^k,21$ sotto la pressione di $0^m,76$, ed alla massima velocità rammentata avrà di forza viva

$$\frac{1,21}{9,8} \times 45^2 = 250$$

e sarà capace di produrre in ogni 1" un lavoro meccanico di 125^{km} cioè lavorerà continuamente per quasi 2 cavalli per ogni metro d'estensione. E siccome a contatto col corpo urtato verranno nel minuto secondo quarantacinque metri cubi d'aria, il vento agirà per cavalli 77,6 in ogni metro quadrato d'estensione. Parleremo con più precisione in seguito dell'urto o resistenza de' fluidi aeriformi, ma fin d'ora concepiremo che il lavoro meccanico del vento, come si disse anche di una corrente d'acqua (*Idr.* 122) è proporzionale al cubo della velocità, e può esprimersi colla formula

$$\frac{\pi}{2g} \; v^3$$

47. *Ventometro, e anemometrografo.* — Con molti di quelli strumenti che si usano per misurare la velocità di una corrente d'acqua, può aversi la misura della forza del ven-

to. Uno de buoni metodi consiste nell'uso del tubo di Pitot (*Idr.* 147) ove ponesi dell'acqua ritenendovela coll'applicare un pezzo di vessica all'apertura. Quando la vessica pressata dall'acqua nell'interno, e dal vento all'esterno mantiene piana la sua superficie può dirsi bilanciata la forza del vento, e detta a l'altezza dell'acqua nel tubo la formula

$$v = \sqrt{(8900.\ a)}$$

darà la velocità. Non importa l'uso della vessica se il tubo sarà di diametro assai piccolo, e ricurvato in basso a guisa di sifone capovolto avrà la svolta piena di acqua, e terminerà in un tratto orizzontale da voltarsi al vento in modo analogo all'uso che si farebbe in un manometro (Tav. III fig. 1) aperto M.

L'anemometro che nella sua più semplice costruzione indica soltanto la direzione del vento, è stato col nome di anemometrografo non solo reso atto a segnare tutte le variazioni che seguono nella direzione, ma anche sulla forza o velocità del vento. Io descriverò quello imaginato, e fatto costruire in Siena dal Prof. Pianigiani, pago di rendere giusto tributo di stima a questo nostro scienziato di cui abbiam dovuto deplorare l'immatura morte. Una ventola verticale AB (Tav. III fig. 5) mobile a basso in B sopra tre puleggie conduce in giro il braccialetto CD con un lapis nell'estremità che premuto da una molla lascia i segni sopra un foglio di carta avvolto al cilindro EF. La base inferiore del cilindro riposa sopra un'asta dentata che ingrana nel rocchetto Q dell'orologio a pendolo R. Così il peso del cilindro e delle sue dependenze forma il peso motore dell'orologio. Sono sulla carta 24 spazi in righe orizzontali per le 24 ore del giorno, e 16 fra righe verticali per i venti cardinali e collaterali di primo e second' ordine. Fra le appendici del peso del cilindro è quello del sistema ST di 12 contatori composti ciascuno di tre ruote dentate: una con 30 denti, una con 50, e la terza con 6. Nella ruota di 30 ingrana una piccola leva U aggirata dalla ventola orizzontale esterna V. Il fusto di questa ventola gira dentro quello della ventola verticale, e ad ogni giro scatta un dente della ruota di 30, come ad ogni giro di questa ne scatta uno di quella di 50, e ad ogni giro di quest'ultima uno della ruota a 6 denti: cosicchè ciascuno de'contatori è capace di misurare 30. 50. 6 = 9000 giri della ventola, restando per due ore sotto l'azione della leva U, nella discesa di tutto il sistema che si compie nel tempo medesimo della discesa del cilindro cioè in 24 ore. La ventola orizzontale si compone di cinque palette a scatola volte in egual modo, e disposte a diverse altezze attorno il fusto verticale coll'inclinazione di 45°. Per adoprare questo strumento convien caricare l'orologio ogni 24 ore rialzando il cilindro e le sue dipendenze, cambiare il foglio di carta che si stira sul cilindro per mezzo di una lama G che ne tiene i lembi in una fessura; mettere a zero gli indici dei contatori dopo aver fatto lo spoglio delle velocità registrandolo sul foglio stesso delle direzioni all' ore respettive. Dalla media di varie esperienze fatte dal Pianigiani, a confronto della formula sopra riportata per la velocità, resultò che per ridurre i numeri dei contatori a velocità assoluta del vento in metri per 1″ convien moltiplicare per 0,40 il numero de' giri della ventola compiti in un minuto primo.

Movimento dentro ai condotti.

48. *Celerità d'efflusso quando il gas percorre un lungo tubo.* — La determinazione delle resistenze che incontra l'aria nel percorrere un tubo interessa per dedurre la quantità d'aria che potrà escire dall'apertura del tubo. La metà della forza viva che aveva il gas all'ingresso del tubo meno la metà di quella che le rimane alla fine, potrà esprimersi per

$$\frac{V^2}{2g} - \frac{v^2}{2g}$$

ritenendo che il peso del fluido uscito sia l'unità, V la velocità dovuta a tutta la pressione, e v la velocità d'egresso. Questa metà della forza viva perduta dovrà essere eguale al lavoro meccanico consumato nelle resistenze, il quale si valuta dalla resistenza moltiplicata per lo spazio percorso. Ora la resistenza media deve essere in ragion diretta della circonferenza del tubo, da questa provenendo le scabrosità, ed in ragione inversa della sezione di esso perchè l'effetto delle scabrosità si ha da repartire in tutta la massa fluida, ed anche in ragion del quadrato della velocità perchè al crescere della velocità cresce (meglio faremo ciò comprendere parlando della resistenza de'fluidi) il numero delle particelle che la soffrono, ed esse la han da vincere più sollecitamente. Lo spazio percorso è la lunghezza del tubo. Per conseguenza questo lavoro può esprimersi con la quantità

$$L. \frac{\pi D. v^2}{1/_4 \pi D^2}$$

moltiplicata per una quantità costante. E perciò avremo l'equazione

$$\frac{V^2}{2g} - \frac{v^2}{2g} = \frac{kL}{D} v^2$$

Applicata questa equazione alle diverse parti del tubo fa conoscere come vari la velocità da un punto all'altro, e poichè i fluidi aeriformi sono compressibilissimi, intendiamo che corrispondentemente deve variare la densità del fluido. Per cui mentre passa dalle diverse sezioni egual massa di esso, non passa ad egual densità, e con egual velocità: varia questa in ragione inversa di quella, ed è questa più piccola verso il principio del tubo ove è corrispondentemente più grande la densità. Dovrebbe nel secondo membro porsi la velocità media anzichè quella estrema, ma tal difetto può esser corretto dal valore del coefficiente k.

Quando il tubo avesse all'estremità un'apertura del diametro, d ritenuta v per la velocità d'egresso, sarà quella nel tubo

$$mv \frac{d^2}{D^2}$$

essendo m il coefficiente di contrazione per lo più $= 0{,}93$. In luogo del quadrato della velocità diviso per il doppio della gravità, può porsi l'altezza, cioè

$$\frac{V^2}{2g} = A \qquad \frac{v^2}{2g} = a$$

che è l'altezza generatrice della velocità stessa. Per conseguenza si avrà

$$A - a = km^2 \frac{Ld^4}{D^5} v^2$$

ed essendo anche v^2 proporzionale ad a si otterrà

$$A - a = \frac{km^2 L d^4 v_2}{D^5} = k' a L \frac{d^4}{D^5}$$

Di qui deducesi per il caso che si conosca la pressione (37) barometrica p a una considerabil distanza dall'orifizio del condotto

$$v^2 = \frac{2gA}{t + \frac{2gkm^2 Ld^4}{D^5}}$$

$$= \frac{2gp.7955(1+0{,}004t)}{\left((1+\frac{0{,}0252 m^2 Ld^4}{D^5}\right)(P+p)}$$

Quando poi conoscasi la pressione en-

tro al recipiente, e il diametro d dell'orifizio di questo sia minore di quello D del tubo, per valutare l' effetto della strozzatura all' ingresso nel tubo (*Idr.* 99) si userà la formula

$$v^2 = \frac{2gp.7955\ (1+0,004t}{\left(1+\frac{d^4}{D^4}\left(\frac{1}{m}-1\right)+\frac{{}^5\,0,0252L}{D}\right)(P+p)}$$

Per i tubi del tutto aperti avremo

$$A - \frac{v^2}{2g} = \frac{kL}{D} v^2, \text{e } v^2 = \frac{2gAD}{D+2gkL}$$

49. *Resultati d'esperienza*— I.° L'esperienze di Girard eseguite nel 1821 confermano l'equazione surriferita, ed anche quelle di D'Aubuisson che mostrano essere la resistenza in ragione inversa del diametro del tubo.

II.° Potrebbe dubitarsi che come accade nel moto de' liquidi ne'tubi, potesse aver luogo nel valore della resistenza un termine colla velocità alla prima potenza, ma le osservazioni dell' Hutton dimostrano questo termine non aver valor concludente nelle velocità dell'aria da 5^m a 100^m, limiti entro ai quali suol sempre esser contenuta la velocità nei tubi in uso.

III.° Posti alcuni tubi ricurvi di cristallo con un poca d' acqua sulla svolta in comunicazione col condotto, questi agiscono da manometri e colla altezza della loro colonna (47) liquida fan vedere di quanto è scemata l' altezza generatrice della velocità per l' effetto delle resistenze del tubo. Un tubo lungo anche 20, e 30 volte il suo diametro dà più portata di un' orifizio in parete sottile, mentre un tubo lungo 126^m, col diametro $0^m,016$ ha dato ai sigg. Girard e Cagniard Latour una portata 11 volte minore dell'orifizio di egual diametro in lastra sottile sotto la pressione $0^m,034$ d'acqua.

IV.° I rammentati fisici sotto la detta pressione hanno fatte esperienze anche con altro tubo, del diametro $0^m,081$, ed han variato le lunghezze dei due tubi; ed oltre avere confermato che la resistenza è proporzionale al quadrato della velocità media, han trovato 1.° che il gas idrogene carburato e l'aria atmosferica portati allo stesso grado di compressione si muovono colle stesse leggi, e provano la stessa resistenza. 2.° che le portate del gas sono in ragion sudduplicata diretta della pressione indicata nel recipiente che alimenta lo scolo, ed in ragione inversa della radice quadrata della lunghezza del condotto per il quale si effettua.

V.° Il coefficiente di resistenza k,k' resta lo stesso quando il fluido elastico è aria, o gaz da illuminazione. I rammentati sperimentatori han ritrovato per valore di k nei tubi

di latta	0,0012
di ferro	0,00128
di ferro fuso.	0,00088

Peclet ha fatte esperienze sopra i cammini da fumo ed ha ritrovato per

il muramento	0,0127
la lamiera	0,0050
il ferro fuso	0,0025

Il perchè sieno maggiori questi valori dei precedenti ben si comprende essendo la nettezza del condotto molto inferiore nei cammini che negli altri condotti da aria. Piuttosto deve fermare l'attenzione il differente valore che prende questo coefficiente per le diverse sostanze, mentre si ritrova costantemente eguale quando si considera il moto dell' acqua. Ciò forse si deve alla maggiore compressibilità del fluido.

VI° Molte esperienze eseguite nel moto dell'aria da D'Aubuisson sopra tubi di latta di diversa lunghezza, e di differente diametro, terminati da

una bocchetta conica l' han portato a ritenere per termine medio

$$k' = 0,0238$$

onde, rappresentate con P, p l'altezze manometriche in mercurio, avremo

$$P - p = 0,0238\, p\, L \frac{d^4}{D^5}$$

$$p = \frac{P}{1 + 0,0238 \frac{L d^4}{D^5}}$$

50. *Delle irregolarità e svolte nei condotti* — Le brusche variazioni di diametro che trattandosi di liquidi darebbero perdita di forza viva (*Idr.* 99) non la cagionano almeno al medesimo grado per i fluidi aeriformi, e spesso è tal perdita trascurabile, ciò si comprende riflettendo che nell'urto de' corpi perfettamente elastici non si perde forza viva. Indicate con s S le sezioni del tubo che si succedono, e $v'v$ le respettive velocità che vi prende il fluido, sarebbe

$$\frac{(v' - v)^2}{2g}$$

l'altezza perduta per la irregolarità di diametro, la quale è a Peclet resultata per l'esperienza troppo piccola; mentre trovò

$$\frac{s}{S}\frac{v'^2 - v^2}{2g}$$

alquanto grande, sebben più approssimato al giusto valore. Quando si abbia adunque un brusco ristringimento si può, per essere $v's = vS$, adottare l'equazione

$$P - \frac{v^2}{2g}\left(1 + \frac{s}{S}\frac{S^2 - s^2}{s^2}\right) = \frac{kL}{D}\, v^2$$

Per quanto il giusto valore sia compreso tra quello che viene dalla precedente equazione, e quello che si avrebbe dalla seguente

$$P - \frac{v^2}{2g}\left(1 + \frac{(S - s)^2}{s^2}\right) = \frac{kL}{D}\, v^2$$

Nei condotti composti di parti cilindriche o prismatiche con diametri D, D', D''.. e con lunghezze L L' L''.., si avranno le velocità

$$v \quad v\frac{D'^2}{D^2} \quad \frac{v D''^2}{D^2} \ldots$$

e perciò indicata con $Rv^2{:}2g$ la somma della perdita di carico, dovuta alle resistenze che l'aria prova avanti di arrivare al condotto, e a quelle che resultano dai bruschi cangiamenti di velocità da calcolarsi come ora si è detto, avremo per l'equazione del moto, trascurate le contrazioni

$$P - \frac{v^2}{2g}(1 + R)$$

$$= k L v^2 \left(\frac{1}{D} + \frac{D'^4}{D^5} + \frac{D''^4}{D^5} + \ldots\right)$$

Se il condotto è un cono o una piramide. Ritenuto D per il diametro alla base, sia d quello alla sommità, e si abbia $D = md$, trovasi col calcolo che la resistenza dovuta al condotto è

$$P - \frac{v^2}{2g}(1 + R) = \frac{kLv^2}{4d(m-1)}$$

posto che sia m maggiore di 2 ovvero 3, o che il condotto formi un cono molto allungato: circostanze che si verificano quando vuole applicarsi la formula ad un cammino di un fuoco da officina.

Le formule per i condotti rettilinei sono state ritrovate con esperienze applicabili anche ai condotti lunghi come i cammini, e che han delle piegature ad angolo, talchè in questi i cangiamenti di direzione de' tubi non mostrano notevole influenza. Ma quando trattasi di condotti assai stretti è grande la resistenza delle gomitate, e il D'Aubuisson ha trovato che sette angoli di 45° riducono di un quarto la portata, e che in generale, come nel moto dell'acqua, la resistenza cresce col quadrato della velocità e prossimamente col quadrato del seno dell' angolo. Soltanto non si ottiene aumentata la resisten-

za proporzionalmente al numero degli angoli, e dopo un certo numero d' angoli l' effetto di resistenza dei successivi si rende insensibile.

Quando più condotti fan capo in un condotto unico non si suole aver danno se concorrono ad angolo acuto, e solo potrà la corrente più forte, produrre un'aspirazione, o un'acceleramento nel condotto ove esiste la corrente più debole di aria. Ma quando si uniscono ad angolo retto, la corrente più forte può anche arrestare ed invertire l'altra corrente, ammenochè non si tenga separata l' una nel condotto comune, usando un tramezzo prolungato per un qualche tratto.

Terminerò questo soggetto coll'osservare, come molto crescendo la resistenza allo scemare del diametro ed al crescer la lunghezza, si procurerà di tenere D tra $0^m,30$ e $0^m,40$ nei condotti principali, e tra 0^m20, e $0^m,25$ per quelli di distribuzione, e di rendere il meno che si possa lungo il condotto. E per quanto poco di resistenza arrechino quest'altre cagioni, pure si sfuggiranno i ristringimenti, si eviteranno le contrazioni della vena, ed i cambiamenti di direzione, o almeno si faranno le svolte molto rotondate.

Dei Ventilatori

51. ***Ventilazione delle miniere, e dei locali per disequilibrio di temperatura***— Le miniere sogliono comunicare coll' atmosfera per mezzo di pozzi verticali, e quando il peso delle colonne aeree contenute in questi pozzi sia eguale, o per essere egualmente profondi i pozzi, o per essere le temperature differenti di essi talmente che compensino la diversa loro profondità, si ha equilibrio nella massa dell' aria racchiusa per la galleria che congiunge due pozzi. Ben di rado però questi pesi saranno precisamente eguali servirà che il fondo de' pozzi non sia al pari entro la terra per decidere il disequilibrio. Infatti entro la terra avendosi più caldo che nell' atmosfera d'inverno, e più fresco nell' estate, rimarrà più pesante nell' inverno la colonna aerea del pozzo che ha più internato il fondo e l' opposto avverrà nella state, onde nel primo caso si avrà una corrente dal pozzo più basso al più elevato, e nel secondo si avrà una corrente inversa. Sì l'una che l'altra muteranno l' aria nella miniera, e daranno la conveniente ventilazione naturale.

Egualmente in un qualunque locale portandosi l' aria calda in alto, si ottiene ventilazione col solo fare due aperture una in basso ed una in alto; e si aiuta questa ventilazione col prolungare ed inalzare il condotto dello sfiato, o apertura superiore. Giova un fuoco acceso o una qualunque sorgente di calorico per decidere una corrente d'aria ove esistano gli sfiati disposti come si è detto, e quanto più alte posson farsi le colonne aeree calde tanto più potente sarà la ventilazione. Nelle miniere si trovano alcune volte naturali le sorgenti di calorico, e son cagione di un rinnuovamento d'aria.

Dovendosi procurare una ventilazione artificiale resta facile accendere un piccol fuoco in vicinanza di un pozzo, il quale deciderà la corrente col gas caldo che rigetta, o col calore che può propagarsi per mezzo di un calorifero quando si trattasse di una miniera di carbon fossile. I movimenti dei gas prodotti dal calore esigono molto combustibile, e argomentando che per richiamar

l' aria che alimenta il fuoco nella caldaia a vapore occorre il quarto del consumo totale del combustibile può ritenersi che ogni kil. di legna, o mezzo di carbone, muova trentasei metri cubi di aria (20) se la celerità deve essere alquanto decisa. Molto meno costosa è la ventilazione meccanica della quale ora parleremo.

52. *Ventilazione delle miniere ottenute con macchine* — Potrà farsi uso di macchine per conseguire la ventilazione, sempre che la cavità sotterranea comunichi per due vie diverse con l' aria esterna: sia per due pozzi distinti, o per due porzioni di un medesimo pozzo che sono state separate da una parete, o condotto per tutta l' estensione del pozzo. Le macchine aspiranti si usano disponendole all'apertura di uno dei pozzi, esse sono consimili alla pneumatica, e qui descriverò quelle che si usano nelle miniere di Harz che evitano lo sfregamento degli stantuffi. Due campane cilindriche AA' (Tav. III fig. 6) sono sospese alle estremità del bilanciere B per mezzo di catene. Il moto oscillatorio che vien dato al bilanciere fa alternativamente alzare ed abbassare le campane, che sono capovolte nell'acqua contenuta in due cilindri. Esiste lungo il loro asse un tubo D munito di valvula, per il quale si aspira nell' atto che si sollevano le campane. Un' altra valvula è al centro del tondo delle campane, per la quale l'aria che si era in esse raccolta cacciata dall'acqua, va a mescolarsi coll' atmosfera, mentre la campana è abbassata.

Si fa uso pure della vite pneumatica che è (Tav. III fig. 8) una superficie elicoide ad un sol giro mobile sovra un'asse verticale, che entrando come un cuneo sotto lo strato dell' aria lo solleva, e con tanta maggior velocità quanto si fa girare più celere. Per aspirar l'aria, valendosi della forza centrifuga, è utile il ventilatore a pale piane (Tav. III. fig. 7) il quale aspirando l' aria dai tubi che occupano la parte più prossima all' asse, la caccia liberamente nell' atmosfera per l' estremità delle pale, particolarmente quando l' anello esterno per il quale l'aria è cacciata dalla forza centrifuga, ha un'area proporzionata alle sezioni più interne che l' aria percorre, e a quella dei tubi d'aspirazione. Onde si fa colle ali AA a trapezio più largo all'asse che alla periferia, e ai tubi si dà la forma di due imbuti BB che rivestono le due parti delle ruote. Il Combes ne ha imaginato uno a pale curve (Tav. IV. fig. 1) all' oggetto che l'aria sia abbandonata nell'atmosfera con debolissima velocità. Le palette non sono portate da bracci fissi all' albero centrale ma da un disco circolare che forma la faccia del ventilatore opposta a quella per la quale l'aria si aspira dall' interno della miniera, ed è il disco fisso all' albero e gira con questo stando la convessità delle palette nella direzione del moto.

53. *Teoria delle macchine aspiranti a forza centrifuga* — Un tubo cilindrico completamente aperto alle sue due estremità che gira attorno ad un diametro di una delle aperture, farà escire l'aria all'altra apertura con una celerità eguale a quella di rotazione che esiste in questa estremità, perchè l' aria interna girando col tubo acquista la velocità che han le pareti del tubo, e fugge con quella lungo la tangente della curva, appena è lasciata libera dalle pareti ed anche in altra direzione per il principio d'eguaglianza di pressione. Opposta dunque una chiusura all' estremità del

tubo farà l'aria una pressione contro questa come se vi gravitasse una colonna d'aria dell'altezza dovuta alla velocità di rotazione. Da ciò resulta che ammessa al ventilatore un'egual sezione per tutto il canale che offre all'aria, sarà $V^2 : 2g$ l'altezza d'aria che corrisponde alla celerità di rotazione delle estremità delle pale. E ritenuto che una certa altezza a di velocità si perda per l'efflusso dell'aria dai condotti d'aspirazione, ed un'altra a' si perda per l'attrito lungo i condotti che presenta il ventilatore, l'altezza A che rappresenta la dilatazione all'estremità del canale d'aspirazione sarà

$$A = \frac{V^2}{2g} - a - a'$$

Non si pone a calcolo nessuna perdita per l'urto dell'aria contro le pale giacchè non si perde forza viva nell'urto dei corpi elàstici (*Mecc.* 208), e le due quantità a, a' potranno determinarsi colla dottrina del moto dell'aria per i tubi, e vi si comprenderanno anche le resistenze delle svolte ristringimenti, e qualunque altra che potesse provenire dalla forma particolare della macchina. Valutandosi in ogni macchina il lavoro meccanico per la resistenza utile moltiplicata per lo spazio che le si fa percorrere in direzione opposta alla sua propria, conviene nei ventilatori per avere il lavoro utile moltiplicare il peso Q' dell'aria mossa per l'altezza dovuta alla velocità con cui essa si muove, e sarà

$$\frac{Q'\,V^2}{2g}$$

Per ottenere il lavoro totale, conviene aggiungere a quello utilizzato anche quello che si è speso nelle resistenze: cioè aggiungere il prodotto di Q' con l'altezza A spesa nella aspirazione, con quella a' spesa nelle resistenze della macchina, e con quella a spesa nelle resistenzè dei condotti d'aspirazione. Onde avremo per il lavoro totale

$$Q'\left(\frac{V^2}{2g} + A + a + a'\right) = 2\,\frac{Q'\,V^2}{2g}$$

Dunque si perde solamente dentro alla macchina la metà del lavoro. In pratica non può contarsi di utilizzare più del terzo del lavoro motore.

Si debba per esempio determinare il lavoro meccanico occorrente per aspirare $0^{mc},6$ d'aria per $1''$ con un ventilatore a forza centrifuga, che ha un solo tubo lungo 10^{m} di ferro fuso, e del diametro di $0^{m},2$. La sezione del tubo è $0,^{mq}0314$, e per conseguenza l'aria vi dovrà prendere la velocità

$$\frac{0,6}{0,0314} = 19,1 \quad A = a + \frac{kLv^2}{D} = \frac{(19,1)^2}{2.9,8}$$
$$+ \frac{0,0025.10\ (19,1)^2}{0,2} = 64,2$$

Ora trascurato l'attrito dell'aria nella macchina che può essere di ben piccolo effetto si ha

$$\frac{V^2}{2g} = A + a = 64,2 + 18,6 = 82,6$$

e per conseguenza il lavoro totale sarà

$$2Q'\frac{V^2}{2g} = 2.0,6^{mc}.\ 1^{k},3.\ 82,6 = 128,8^{km}$$

che è circa un cavallo e due terzi.

Si è ritenuto che i ventilatori abbiano pale piane, e canali a sezione costante. In quelli che non hanno sezione costante e va essa crescendo all'allontanarsi dall'asse si ha una diminuzione nociva di celerità. Per procurare la sezione costante conviene configurarli simili a tronco di piramide come dicevamo nel paragrafo precedente, ma con accrescere alquanto le resistenze dell'aria entro la macchina. Si formeranno facilmente a sezione costante usando pale curve, allora però si

avrà maggior resistenza per la maggior lunghezza che prendono le pale, e per le svolte ove si addensa l'aria.

54. *Altre macchine a ventilatore*. — Nelle trebbie, e nei vagli da grano si fa il ventilatore per separare le piccole paglie e spoglie o altre materie leggiere dai grani. Sovra un'albero (Tav. IV fig. 2) sono montate quattro ali rettangolari circa un metro lunghe, e mezzo metro larghe, che fanno tra 70 e 140 giri per minuto. Esse aspirano l'aria dall'apertura che è presso l'asse, e la lanciano contro i grani nell'atto che cadono da una certa altezza separandone le paglie, e le polveri che come più leggere son spinte per un'apertura di rifiuto in luogo diverso da quello ove cade il grano.

Si usano per la ventilazione delle miniere anche le macchine che ricevono l'aria dall'atmosfera e la cacciano in uno dei pozzi, ed eccitano una corrente diretta da questo per la galleria intermedia e per quell'altro pozzo. Di queste che servono come soffierie, parlerò qui appresso, non essendo tra le soffierie adattate alle officine e quelle per la ventilazione, se non l'unica differenza, che le prime imprimono molta velocità all'aria che esce tutta raccolta da uno assai stretto tubo, e le altre pochissima velocità, ed invece mettono in moto grandi masse di aria.

Delle Soffierie.

55. *Classazione delle diverse soffierie* — Le macchine soffianti o soffierie sembrami possano distinguersi per la loro forma in tre classi. Soffietti, o mantici, trombe, macchine a pale. L'oggetto di tutte è d'imprimere forza all'aria per farle percorrere dei condotti, e per farla escire con una certa velocità, ed in una quantità determinata, onde si abbia nell'officina quell'alimentazione al fuoco che può occorrere, o si consegua quell'effetto che desideravamo.

56. *Dei soffietti e dei mantici* — Il soffietto comune che si usa per attivare la combustione nei cammminetti o nelle cucine, non ha che una capacità la quale s'ingrandisce allo spiegarsi della pelle, e perciò aspira traendo l'aria, o dal tubo esterno o da una valvula che si apre dal fuori al dentro, e caccia nel chiudersi l'aria tutta nel tubo, rimanendo allora serrata la valvula. Questo oltre ad avere il difetto di un'intermittenza nel getto d'aria, ha anche l'altro di porre in pericolo lo strumento aspirando l'aria dal tubo, giacchè tenuto prossimo alla fiamma può trarla dentro.

Si evita quest'ultimo difetto, ed in parte anche il primo nel mantice a doppio vento. Tre tavole (Tav. III fig. 9) A, B, C formano respettivamente il sopra, il fondo, ed un tramezzo dello strumento, ed al fondo viene applicata la potenza, o il moto alternativo, essendo tenuto fermo il tramezzo. Le due B, C portano una valvula per ciascuna, quella D aspira l'aria dall'atmosfera, e quella E, la fa passare entro il compartimento F, da dove si porta al tubo G, compressa dal peso della tavola C, o dall'ufizio di una molla che tende ad avvicinare le due tavole C, A. Spesso in luogo della molla ponesi un peso sul coperchio A.

Il mantice triplo ha la parete superiore in una quarta tavola (Tav. III fig. 10) D, ed anche contiene nella tavola A due valvule, una che co-

munica colla cavità F, e l'altra colla sola cavità E mediante una sacchetta, o tubo di pelle. La cavità M fa da magazzino all'aria che vi è continuamente spinta ora dalla cavità F ora dall'altra E, essendo in questo mantice la potenza applicata in C.

Questi mantici si fanno talvolta a rettangolo con pieghe eguali per tutti i lati e col coperchio che si solleva parallelamente al fondo, e negli organi hanno il vantaggio di tener minor posto.

57. *Apparati Regolatori del soffio* — Questa terza capacità M, ed anche l'altra *f* non sono che camere per regolare il soffio, una variabile di dimensione, e l'altra costante. Nei mantici che servono per gli organi e altri strumenti di musica (31. 32) ove occorre che il soffio sia bene uniforme ponesi una valvula di rifiuto sul coperchio, la quale si apre dal fuori all'indentro, quando il mantice è troppo teso, urtando essa nel sollevarsi del coperchio contro un pezzo fisso. E per quanto i mantici a fondi divergenti sieno ad una sola camera munita di valvula al portavento, si ottiene uniformità coll'usare più mantici, che tengan l'aria ad egual tensione, e alternino l'azione fra di loro. Nei mantici a fondi paralleli per render meno sensibili le riprese del fiato si fa che due mantici piccoli alternativamente spingano l'aria in un mantice molto più grande che è la cassa regolatrice a volume variabile, quella a volume costante essendo composta dal bancone. Non solo ai mantici ma a qualsivoglia soffieria lungo il condotto del vento si può far comunicare un largo cilindro solido e cavo, chiuso al fondo ed aperto alla sommità, e munito di agile stantuffo. Al sollevarsi di questo che sta caricato di alcuni pesi aumenta la capacità del cilindro e viene alloggiato il gas eccedente, che torna poi in giro per il discendere dello stantuffo al diminuire la tensione del gas, quando esso scarseggia. Ed egualmente può usarsi un regolatore ad acqua, il quale consimile ad un gazometro (42) lascia abbassare il livello interno dell'acqua quando si introduce il gas e lascia che si sollevi allorchè scema il gas affluente. Tanto meglio agisce il recipiente regolatore quanto è maggiore la sua capacità relativamente a quella della soffieria, e relativamente al consumo che se ne vuol fare. Poichè conviene aver di mira che il gas vi acquisti poca velocità: in fatti scema la pressione di esso (*Idr.* 67) per lo meno dell'altezza dovuta alla velocità, ed il peso che aggrava il mantice la indica inesattamente.

Molta regolarità nel soffio può aversi col ridurre all'uniformità il moto nella soffieria, particolarmente quando è continuato, e non intermittente. Onde il più regolare soffio si ha forse nel fare un getto costante (*Idr.* 48 *seg.*) di acqua in un vaso chiuso che abbia due soli fori uno per ricevere questo getto, e un'altro per dare l'efflusso dell'aria.

58. *Teoria per le soffierie, e più particolarmente per i mantici* — Il calcolo che si fa su questo soggetto dirigesi a ricercare la quantità d'aria che può ottenersi in un dato tempo, e il lavoro meccanico che si utilizza con queste macchine, e la forza che occorre per muovere il mantice o per condensare l'aria. Per la prima ricerca se è data la pressione $P + p$ interna del fluido nell'egresso della soffieria, e quella P che ha il fluido all'esterno, già abbiam trovato (40) il volume Q_1 e il peso Q'

dell'aria che può aversi in un dato tempo T. Sia la bocca, o porta-vento direttamente unita alla macchina, ovvero si abbia un lungo tubo per il quale debba correre l'aria prima d'escire dalla buca, il calcolo non varia; solo è da notarsi che per ottenere la pressione $P + p$ all'egresso, quando si avesse quella nell'interno della soffieria e venisse questa scemata dalla resistenza del condotto, converrà dedur l'una dall'altra colla formula della resistenza (48). Avendosi nel tubo dei ristringimenti conviene calcolare anche la resistenza prodotta da questi. D'ordinario se ne ha solo uno al principio del tubo e la formula diviene allora

$$p - \frac{v^2}{2g} = \frac{Kv^2}{2g} + \frac{kL\,v^2}{D}$$

ove metteremo $k = 0,00234$ e K rappresenterà il coefficente (*Idr.* 99) pella strozzatura del tubo, ammesso che sia p minore di $^1/_{10}$ P, che se è maggiore conviene in luogo di p, porre il lavoro della dilatazione del gas che in seguito, parlando della forza motrice di questi fluidi, insegneremo trovare.

Nel caso che in vece della pressione si conosca l'aumento e la diminuzione delle camere di aspirazione e di compressione che compongono la macchina, si otterrà il volume dell'aria soffiata moltiplicando il volume per il quale si è fatta l'aspirazione, o la compressione, per il numero delle volte che questa compressione è successa nel tempo assegnato. Differisce il calcolo fatto sull'aspirazione da quello eseguito sulla compressione per la differenza di densità che vi ha l'aria, e quindi conviene, come richiedesi in pratica, ridurre la densità dell'aria a quella atmosferica, cioè moltiplicare il resultato per il rapporto che esiste fra la densità dell'aria all'esterno ed all'interno della macchina (40). Un tubo manometrico (fatto a sifone rivolto in alto e aperto da ambe le branche con acqua nella parte curva e con una branca in comunicazione con la soffieria mentre l'altra comunica coll'atmosfera come vedesi (Tav. III fig. 1) in M) può far conoscere sperimentalmente questo rapporto con la colonnetta d'acqua che vi si solleva. Conviene agli alti forni l'aria soffiata con una forza di due metri d'acqua, e nelle ordinarie fucine tra tre, e cinque centimetri.

La seconda ricerca cioè il lavoro meccanico utile della soffieria si ottiene moltiplicando il peso dell'aria che esce dal portavento il quale per 1'' è (40)

$$Q' = 463,4\,d^2 \sqrt{p^2 + 0,75p}$$

per l'altezza dovuta alla velocità d'egresso che è (37)

$$p\,\frac{d}{d'} = \frac{7955(1+0,004.t)}{P + p}\,p = \frac{8642,3\;p}{0,75 + p}$$

avendo, come era già stato fatto in Q', posto $P = 0,75$, $t = 15$. Onde questo lavoro sarà espresso da

$$\frac{Q'pd}{d'} = 4004842.^{km}\,d^2p\sqrt{\frac{p}{0,75+p}}$$

ovvero, trascurato p nel denominatore, da $4603265\,d^2p\sqrt{p}$. E per passare dal lavoro meccanico utile al lavoro motore, conviene aggiungere tutto quello che si perde nelle resistenze. Che se si volesse solamente sopprimere la resistenza del tubo è chiaro che l'espressione precedente si aumenterebbe nel rapporto dell'eccesso p_1 di tensione che ha l'aria entro alla macchina, all'eccesso p che conserva alla sua bocca, giacchè in questo rapporto crescerebbe l'altezza dovuta alla velocità, e l'aria esce nella stessa quantità dalla bocca e dal recipiente della macchina. Perciò il lavoro tota-

le utilizzato dalla soffieria sarebbe

$$4603265^{km}.\ d^2 p_1 \sqrt{p}$$

E nella pratica chiamato PA il lavoro della forza motrice potremo usare la formula

$$\alpha\ PA = 4603265^{km}.d^2p_1 \sqrt{p}$$

esprimendo con α il rapporto tra il lavoro motore e quello utile, di cui noi assegnamo il valore nell'atto che parliamo dei diversi generi di macchine soffianti.

Quest'ultima parte che fa conoscere il lavoro motore a confronto del lavoro utilizzato dalla soffieria sodisfa alla terza ricerca che ci siamo proposti, giacchè data la quantità d'aria che occorre per un certo effetto, e la tensione a cui richiedesi, si conosce il lavoro che vuolsi utilizzato e per conseguenza il lavoro motore

$$PA = \frac{Q'pd}{\alpha\ d'}$$

La forza motrice P può farsi variare a nostro piacere purchè corrispondentemente varj lo spazio A percorso dal suo punto d'applicazione. Un mantice piccolo che cacci l'aria in uno grande, come si è detto sopra parlando dei mantici a fondi paralleli (57), richiede poca forza ricorrendo il principio della pressa idraulica (*Idr.* 207). Ogni valvula vuole esser proporzionata al mantice che la fa agire, e la resistenza che porta si valuterà co' principj esposti nell'idraulica (*Idr.* 188). Tutte queste cose teoriche possono servire per le macchine aspiranti (52); come quelle che ho riportato parlando dei ventilatori a forza centrifuga (53) posson valere per le soffierie analoghe a pale.

59. ***Delle soffierie a trombe, e a tromba idraulica.*** — Una macchina del tutto analoga a quella a compressione (4) cioè munita di trombe prementi, può prendere l'aria dall'atmosfera, e cacciarla nel condotto, o farla escire dal portavento. Si usano anche trombe a doppio effetto con cilindri di ghisa ben lavorati. Sempre in tali macchine si han da rammentare tra i disperdimenti di forza oltre agli attriti degli stantuffi, la quantità d'aria che rimane tra il fondo del cilindro e dello stantuffo, e quella che sfugge tra la guarnitura di quest'ultimo. In una buona soffieria a stantuffi consistente in due cilindri di ferro fuso ben torniti, e fatti agire da una macchina a vapore si ritrova utilizzato solo 0,50 del lavoro motore o poco meno (*Int* 202). Una soffieria a stantuffi ordinaria mossa da una ruota idraulica a cassette utilizza soli 0,24 del lavoro della caduta d'acqua.

Nelle trombe idrauliche (Tav. III fig. 11) l'acqua fa l'ufizio ad un tempo dello stantuffo e del motore. Queste si usano nelle montagne ove si hanno grandi cadute d'acqua. Sono alberi o cilindri verticali vuoti leggermente ristretti un poco al di sotto della loro sommità, e nei quali cade una corrente di acqua traendo seco l'aria che entra nel cilindro da piccole aperture laterali AA, dette aspiratori, poste poco sotto il ristringimento. L'aria trascinata dall'acqua vien raccolta da un recipiente ove termina il cilindro, e per il suo minor peso si pone alla parte superiore B, mentre all'inferiore si raduna l'acqua, dopo di avere urtato sopra la cappella metallica C. L'aria fugge dalla cassa per un condotto che si apre nella copertura del recipiente, e termina col portavento G nella fornace, e l'acqua scola da altra apertura che è verso il fondo. Il getto gasoso prodotto da questa tromba ha gran regolarità, ma rimane caro per la piccola quantità de. lavoro

motore che si utilizza, la quale è 0,15 del lavoro perduto nella caduta dell'acqua.

60. *Delle soffierie a pale* — Sotto questa denominazione comprenderò tanto quelle che agiscono muovendo l'aria per forza centrifuga, quanto quelle che la spingono pel moto di una superficie elicoide. Ambedue queste classi abbiamo veduto che hanno la loro corrispondente costruzione anche tra i ventilatori. Sebbene possa assegnarsi differente forma alla macchina soffiante a forza centrifuga pure sempre presenta un tamburo o cassa di lamiera, ove un'asse muove circolarmente un sistema di pale. Presso l'asse sono due aperture da dove si fa l'aspirazione dell'aria, che per forza centrifuga è cacciata dalle pale alla periferia, e quindi pel condotto che trovasi in una parte di questa. La fig. 3 Tav. IV rappresenta una soffleria a pale piane inclinate, la quale facendo 1000 giri al minuto, e perciò la estremità delle pale percorrendo circa 3000 metri per minuto, ha bisogno di una forza motrice di 4 cavalli, e produce un soffio che può alimentare due fornaci che fondono ciascuna 2000 kil. di ghisa all'ora. L'aria arriva a ciascun fuoco per quattro orifizi che hanno circa 10,5 centim. di diametro. Una soffieria a pale alquanto curve suole essere ordinariamente impiegata, e la piccola curvatura delle pale in direzione contraria al loro moto ha l'oggetto di fare abbandonare più facilmente l'aria che toccano nell'atto che sono davanti al tubo. Il Combes ne ha imaginata una con pale che hanno curvatura quasi a semicerchio, e la periferia della cassa eccentrica si allontana a gradi dall'estremità delle pale fino ad esserne distante quanto è la larghezza del condotto per cui viene l'aria più direttamente ad insinuarsi per quello. Tutte queste macchine lanciano l'aria con gran regolarità.

La vite di Archimede, stando quasi tutta immersa fino a prendere acqua dalla parte superiore, serve che si muova in direzione opposta a quella che le si dà quando alzasi l'acqua, per ottenerne una condensazione d'aria. Onde Cagnard-Latour ha suggerito il seguente modo per formarne una macchina soffiante che è detta Cagnardella (Tav. IV fig. 4). Un'albero AB giace in posizione inclinata, e porta una lama elicoide terminata esteriormente al concavo di un cilindro di lamiera. L'acqua giunge fino al livello ED, al di sopra è aria che a ciascun rivolgimento della lama e suo asse si introduce nello spazio compreso tra le spire e l'involucro, e viene successivamente ad occupare le parti CC′ C″ C‴... comprimendosi di più in più, e determinando per conseguenza un abbassamento progressivo nel livello dell'acqua. Giunta l'aria nell'ultima e più ristretta cavità entra nel tubo F, dal quale va al fornello, ove deve alimentare la combustione.

CAPITOLO IV.

Del muovimento dell'aria e dei gas negli apparati di combustione.

Dei Focolari.

61. *Classazione dei focolari, e modi per raccogliere calorico nella combustione.* — Le disposizioni che si danno al fuoco variano se-

condo gli effetti che si voglion produrre di sviluppo di calore, di luce, o di movimento nei gas, e secondo la natura del combustibile. Quindi si hanno fuochi per gli usi domestici di cucina, di riscaldamento de' quartieri; fuochi da officine, da fonderie, e per caldaje. E questi possono essere aperti o chiusi, a reverbero, a fiamma retta, a fiamma rovesciata: fuochi fumivori, a iniezione di vapore a forte getto di aria fredda o di aria calda. Si hanno focolari per le legna per la torba, per il carbon fossile, e per il cook. Di qualunque genere sia il focolare sempre vi si distingue il luogo ove arde il combustibile, il luogo dell'accesso dell'aria, il ceneraio, ed il cammino o luogo d'egresso dell'aria. In tutto il discorso che noi facciamo sù focolari, e sopra i cammini abbiamo lo scopo principale di indicare il movimento dell'aria, e degli altri fluidi aeriformi. Poichè l'aria traversa il combustibile, alimenta la combustione e sfugge insieme col fumo per il cammino, mossa sempre dalla forza d'aspirazione che è generata dalla tendenza a sollevarsi dell'aria calda.

Posto che l'oggetto della combustione sia quello di raccogliere il calorico per valersene ad un qualche uso, è manifesto che le più studiate costruzioni sono quelle dei focolari chiusi, cioè di quelli che hanno un solo determinato luogo da dove entra l'aria alimentatrice, ed è l'apertura presso il cenerario e le aperture per la graticola, ed un solo determinato condotto per il quale esce l'aria che ha servito alla combustione. Chiuso nel rimanente tutto lo spazio ove segue la combustione, devesi in questo raccogliere l'azione calorifica il più che si può, sovra il corpo sul quale ha da agire. Ed ivi deve esser procurata la massima facoltà assorbente del calorico, mentre nelle altre parti deve studiarsi quanto si può la coibenza onde non si disperda invano questo costoso agente.

Tra i legni che si ardono sono da distinguersi quelli verdi che contengono, se sono resinosi il 40 per cento di acqua e se non sono resinosi il 36 per cento, da quelli stagionati che essendo resinosi richiedono per dirsi tali 18 mesi e rimangono col 15 per 100 d'acqua, e non essendo tali richiedono due anni e tuttora contengono il 20 per 100 d'acqua. Come pure sono da distinguersi i combustibili che ardono senza fiamma o con poca, da quelli che ardono con fiamma, essendo in molti casi utile la fiamma sia per la maggiore estensione che dà alla combustione, sia perchè i gas incandescenti possono lambire e cingere i recipienti che han da essere scaldati. Nè l'aria scaldata dalla combustione, sebbene lambisca in egual modo, supplisce in totalità alla fiamma, poichè questa reca più calore essendo la combustione istessa.

62. *Del ceneraio* — In tutti quei fuochi che han da essere prolungati per lungo tempo occorre uno spazio ove devon cadere raccolte le ceneri, e questo rimane sotto a quello dove segue la combustione: separati essendo questi due spazi da una graticola che sostiene il combustibile, e permette che cadano in basso le ceneri. Il ceneraio è chiuso da uno sportello che lascia la conveniente apertura per l'aria, la quale si fa un poco minore di quella del cammino, e meglio sarà che possa regolarsi secondo il bisogno, per non affidare alla sola graticola il regolamento dell'aria. Occorre che la più piccola sezione lasciata aperta nel ce-

neraio sia sufficiente per l'aria necessaria alla combustione. Quest'aria ha da passar successivamente per la graticola attraverso al combustibile, e tanta è la difficoltà che suol provare in questo passaggio, che preferisce di entrar dalla bocca del focolare se non si tien chiusa, lo che avverrebbe e con scapito della combustione.

Alcuni hanno recentemente introdotto l'uso di tenere abbassata artificialmente la temperatura del ceneraio, e fan ciò anche con una corrente di acqua, giacchè come diremo contribuisce il vapor d'acqua, quando non manca forza d'aspirazione del cammino a rendere più attiva la combustione.

63. *Della graticola, e delle griglie* — Nei piccoli fuochi si fa uso di una graticola, ed in quelli più attivi si usano le griglie che sono verghe di ferro, o di ghisa, poste parallele ed a piccola distanza fra loro. I vacui che esse lasciano, si valutano dal quarto al terzo della superficie totale, e devono farsi minori quando si adoprano combustibili che nell'ardere vengon frantumati. La loro ampiezza è determinata dalla quantità di combustibile che si vuole ardere, poichè ammassato che sia questo di troppo, ostruisce in tal modo le aperture delle griglie, che non può per esse aversi conveniente passaggio all'aria. Nell'uso del carbon fossile si fa lo strato del combustibile alto tra 6 e 8 centimetri, e per un consumo di $1^k,2$ all'ora occorre un'estensione di un decimetro quadro. Per consumo equivalente di legna le griglie sono tra due e quattro volte più piccole che quelle del carbon fossile occorrendo meno aria, e potendo essere le griglie più rade. Basta un decimetro quadro per $3^k,5$ di legna; e per 350^k di querce secca, da bruciarsi in un'ora che per l'effetto calorifico equivalgono a 150^k di carbon fossile, richiedesi un metro quadrato di superficie di griglie. Meglio però è abbondare che scarseggiare in questa superficie, perchè l'aumento si corregge col chiudere o registrare il cammino, o il ceneraio.

Esistono focolari a carbon fossile con griglie piccole, e altri con griglie molto grandi: i limiti estremi corrispondono al peso del combustibile da $1^k,5$ a $0^k,3$ per decimetro quadrato e per ora, e vogliono essere pure nella lor mole adattate alla quantità del combustibile. Le grandi griglie sono più difficili a regolarsi, e danno il fuoco più irregolare, pure sono indispensabili quando il combustibile è in volumi molto grandi, o non può mutarsi con frequenza. La figura delle griglie (Tav. IV fig. 6) è presso a poco di un solido di egual resistenza con ingrossatura anche per il traverso al mezzo ed agli estremi, talchè nel toccarsi di queste ingrossature rimangano gli spazi fra le due metà per le ceneri e per l'aria. Talvolta si pongono le griglie inclinate al basso nella parte più lontana del focolare, e particolarmente quando il combustibile brucia con fiamma. Nei fornelli a riverbero si fanno anche le griglie giranti per potere scuotere il combustibile incandescente, e per far cadere nel ceneraio le sostanze combuste.

64. *Del focolare propriamente detto* — Lo spazio che deve esistere sopra il combustibile se fosse piccolo di troppo quando si usa per caldaje le quali stanno ad una temperatura più bassa della fiamma, la fiamma si estinguerebbe; se fosse troppo grande non riceverebbe la caldaja il

calorico condotto, e sfuggirebbe l'aria calda senza averne lambita la volta. L'esperienza ha mostrato che tra il fondo della caldaja e le griglie devono esser circa 35 centimetri per il fuoco a carbon fossile, 75 per quello a legna, 50 per quello a torba, e 60 per quello a cook; e questi numeri devono di qualche cosa scemarsi o aumentarsi, secondo che il fuoco è molto piccolo o molto grande.

I focolari chiusi son sempre incassati lateralmente, ed al fondo, per cui la fiamma ha da lambire in più direzioni la caldaja. Sono rivestiti di mattoni, spesse volte in terra refrattaria e connessi con polvere bagnata tratta dai medesimi mattoni. Al di là della graticola (Tav. IV fig. 7) si fa un risalto V, o piccolo scalino che costringe la fiamma ad accostarsi al fondo della caldaja, e limita lo spazio nel quale può esser collocato il combustibile. Non deve questo essere troppo alto da togliere alla porzione della caldaja, che resta al di là, l'irradiazione calorifica, nè da esporla ad un degradamento pronto per l'urto che può farvi l'aria in quella più stretta sezione. Nei fuochi da cucina ove più recipienti devono esporsi al fuoco si praticano gli incavi per quelli in una lastra di ferro che fa da copertura al focolare. Nella fig. 5 Tav. IV ho ideato un focolare, che per servire alla comodità e all'economia ad un tempo, può mandare direttamente la fiamma alle quattro buche ove sono i laveggi, e anche alla caldaja dell'acqua D, ovvero successivamente per mezzo dei registri che sono ai condotti in OO'O''... e in CC'C''... Mi sembra utile al di sopra della graticola A lasciare un incavo nella lastra di ferro ove con un bagno di rena possono cuocersi molte sostanze, ed ove all'occorrenza tolta la rena con un coperchio rilevato a guisa di cassa di ferro, si abbia uno spazio per farvi l'arrosto.

Tra la porta del fuoco, ed il principio della graticola esiste uno spazio di 30 a 50 centim. per impedire il troppo riscaldamento della porta che è di ferro, e di tutta la bocca fino alle griglie che è pure di ferro. La porta non ha da esser grande che quanto è necessario per regolare la combustione cioè tra 15, e 30 centimetri di altezza. Ad impedire la dispersione del calorico nei grandi fuochi si guarniscono le porte al di dentro con un quadro ripieno di terra da mattoni.

Forma parte del focolare tutto lo spazio per il quale si fa circolare la fiamma o l'aria calda prima che sfugga per il cammino. Questa circolazione attorno alla caldaja, o presso i corpi che devono essere scaldati, intesa entro ai convenienti limiti, che permetta la forza d'aspirazione del cammino, è di economia perchè rende utile una maggior parte del calorico che sfuggirebbe coll'aria che ha servito alla combustione, ed un'esempio per i fuochi da cucina se ne ha nel condotto che può portare l'aria calda dal focolare A e successivamente alle buche B, E, F, G e finalmente al cammino R, se sono chiusi i registri O, O', O'', O''', C, C', C,'', C'''. Per le caldaje a vapore (Tav. IV fig. 7) si può per es.° l'aria calda far passare da sotto la caldaja per l'apertura B nel condotto, che cinge quella diramandosi per le due parti opposte, e venendo per C al cammino D.

65. *Fuochi a fiamma rovesciata e fumivori* — La fiamma elevasi naturalmente per il piccol peso dei gas in ignizione, ma allorchè la corrente d'aria la investe dall'alto al bas-

so può anche tenere una direzione opposta. In quest' ultima disposizione resta più completamente bruciato il fumo per esser trattenuto nel suo sollevamento dal soffio dell'aria. Nella combustione del carbon fossile l' usare questa disposizione farebbe distruggere le griglie per esser il suo fuoco troppo potente. Aveva il sig. Nivelle proposto per le caldaje a vapore di bruciare il carbon fossile a fiamma rovesciata sopra griglie, che avessero un'incavo nell'interno ripieno di acqua in comunicazione colla caldaja Bella rimane la disposizione nelle legna ove il combustibile cade da per se a misura che resta bruciato (Tav. IV fig. 7) e questa non lascia quasi residuo; e completamente rovesciata la fiamma si ha nella stufa A (Tav. VI. fig. 1).

Il fumo si produce in maggior copia dai combustibili che soffrono più facilmente la decomposizione come sarebbero i carbon fossili grassi, la torba, le legna ec., meno vien prodotto dal cook e perciò si trova talvolta economia a bruciarlo in preferenza del carbon fossile, sebbene sia di maggior costo. Non tanto il tener la fiamma alquanto rovesciata può esser cagione di una combustione più completa, e di distruzione di fumo, quanto l'accumulare calorico ad un certo punto del fuoco, e fare accorrere ivi dell'aria, per distruggere in totalità il fumo. Sul primo principio son basati quei fuochi fumivori che rovesciano la fiamma dopo un certo tratto obbligandola con una volta a piegare in basso. Questi per l' esperienze dei signori Tomas e Laurens han dato per resultamento una distruzione totale di fumo, ed un'economia di un decimo del combustibile, ma presto guastavano la volta. La stufa di Kiiher consumatrice del fumo, partendosi dal secondo dei premessi principj, è fondata sul bruciamento del fumo stesso, eseguito in una canna di ferro la quale sia collocata a guisa della graticola sotto il combustibile. Si è particolarmente nei camminetti da quartieri usato di far passare il fumo ad alimentare la fiamma, facendoli subire una nuova combustione, e ciò con lasciare un vuoto lungo le due pareti laterali, che aperto alla parte superiore entro il cammino riceve il fumo, e lo porta per una finestrella sotto o presso la graticola. Si ha in questa disposizione risparmio di calore anche perchè si alimenta il fuoco coll' aria calda. E nella fig. 7 Tav. IV il condotto E che rimane lungo il cammino e separato da quello con una sola lamiera, portando sul fuoco aria calda che abbatte la fiamma, può meglio far conseguire l' intento dell' economia di calore.

66. *Fuochi con regolatori d' aria e di combustibile*. — Ad oggetto di consumare il fumo, e di rendere più completa la combustione si è fino da Watt introdotta sulla fiamma una corrente d' aria, e tosto conobbesi che l' introduzione di troppa aria fredda poteva fare accrescere anzichè diminuire il fumo, onde si è veduto il bisogno di regolare convenientemente l' accesso di quest'aria. Per introdur regolatamente dell'aria calda si son fatti dei fori al fondo del focolare, subito dopo la graticola nel luogo ove si avanza la fiamma: si sono ricoperti questi con coni metallici muniti di piccoli forellini, i quali si avanzino fin verso la sommità della fiamma: e si è con macchine mandato per questi fori una corrente d'aria che scaldata dal calore comunicatoli dal metallo venisse a rimescolarsi col fumo, e ca-

gionasse in esso un prosegnimento di combustione. Col ben regolare i vani della graticola può in gran parte supplirsi a queste correnti d'aria. Avvertito poi che del pari alla fiamma rovesciata possono i vortici eccitati nel fumo rendere più completa la combustione, contenendo questo dell'ossigeno libero, il signor Lefroy ha immaginato un'apparato che getta nel fuoco a intermittenza un determinato volume di combustibile senza che si stabilisca comunicazione tra l'esterno e l'interno, ed apre per ogni getto quattro aperture lunghe e strette, le quali si trovano nelle facce laterali del focolare al di là della grata, per cui si producono i vortici nel fumo, e si ha combustione completa di questo.

La distribuzione del combustibile è stata tentata coll'uso di una tramoggia, che continuamente lo spargesse sopra una grata girante mossa con moto lentissimo. E dipoi ad evitare la complicanza e fragilità del meccanismo sono stati immaginati dei distributori meccanici, che ritenuta fissa la graticola, dassero un'uniforme distribuzione di combustibile sù tutta l'estensione di essa. Ecco la descrizione di uno di questi distributori, il quale nella fabbrica dei prodotti chimici del sig. Payen ha per molto tempo alimentato il fuoco di una caldaja a sei cavalli col consumo di 2 ½ kil. di carbon fossile per cavallo in un'ora. La fig. 1 della Tav. V presenta l'elevazione del fornello e del distributore; ed il taglio verticale secondo la linea *xx*. ed anche il taglio verticale secondo la linea *yy*. A fuoco, B graticola fissa, C ceneraio, DD bollitori, EE otturatori dei bollitori, F porta del fuoco, G caldaja, HH assi quadrangolari che portano sulla loro lunghezza quattro cilindri con scannellature alternate per modo che il rilievo d'una corrisponda all'incavo dell'altra, K tramoggia a tre compartimenti K'K'K' che contiene il carbon fossile minuto, LL muri di sostegno della piattaforma e della tramoggia, MMM tre linguette che servono a regolare le aperture pel passaggio del combustibile, OO ruote dentate sull'asse de'cilindri, mosse dalla vite perpetua P, R ruota dentata che riceve il moto dalla macchina a vapore, e lo trasmette all'albero Q.

67. *Fuochi a reverbero* — Tutti i modi con i quali si raccoglie il calorico raggiante possono tornar utili per dare fuochi a reverbero attivissimi. Sormontato il fuoco da una volta in terra refrattaria può riflettersi il calorico raggiante, ed anche concentrarsi in un qualche luogo, per cui a seconda dell'uso varierà la forma di questo forno. Per calcinare diverse sostanze: come il mescuglio di solfato di soda, creta, e carbone per ottenere la soda, si usa (Tav. IV fig. 8) un forno allungato rappresentato in pianta in A ed in spaccato in B. Poco dissimile da questo è il forno che si adopra per purificare il ferro, detto pudlage.

Per la fusione di alcuni metalli, come per fare i cannoni, o le campane adoprasi un forno circolare che vedesi (Tav. V. fig. 2) in prospetto per la faccia anteriore B e per il lato C, ed in spaccato preso sulla linea *xx* tra le due volte A A'. L'ingresso della fiamma segue dall'apertura T essendo il focolare I alla parte posteriore, come mostra la figura nelle linee punteggiate: in N è la graticola, ed in I il foro da dove gettasi il combustibile: Q è la porta che dalla cavità sotto la fornace conduce nel ceneraio. Fa duopo che que-

sta fornace rimanga in alto, onde l'apertura B del colamento che rimane di contro alla T sia a livello delle fosse V, che portano alle forme dei cannoni e pezzi da fondersi (*Intr.* 169) in posizione verticale. In L sono le aperture per rimestare, e per pulire la superficie del metallo fuso. Ciò si fa da un operaio P mediante un riavolo uncinato di ferro, mentre un'altro R solleva la serracinesca che chiude l'apertura. Il fonditore S colla pertica apre il colamento affondando l'otturatore di ferro.

Nella fabbrica dell'ottone si usa una fornace circolare che ha il fuoco nel mezzo ove é la graticola K (Tav. V fig. 3): i crogiuoli sono in circolo all'intorno di essa, e sotto a questi è praticata una fossetta circolare che comunica con quattro incavi P che sono alle quattro bocche della fornace, all'oggetto di raccogliere il metallo che potesse scorrere nella rottura di un qualche crogiuolo, come vedesi nella sezione sulla linea *xx*. Lo spaccato della fornace fatto sulla linea *yy* mostra il cenerario F, il luogo del fuoco K colla bocca da dove si pone il combustibile, con il ripiano dei crogiuoli Q, e con la volta. Sono in questa quattro aperture R per far passare il calorico alla fornace superiore T, ove ponesi a torrefare la giallamina. Non troppo differenti alle descritte fornaci sono quelle per le vetraie; più differiscono quelle per la cottura dei mattoni, della calce ec. giacchè in esse si fa agire il calorico condotto e non il raggiante, e nell'incavo della fornace pongonsi i materiali in modo che possa circolarvi la fiamma e l'aria calda.

68. *Fuochi a iniezione di vapore, o d'aria. Alti forni*. È stato fatto pervenire liberamente nel ceneraio al di sotto della graticola un getto di vapore, e mentre occorrevano 550^k di combustibile per giorno nel far muovere una macchina di 12 cavalli destinata alla filatura del cotone senza l'uso del vapore, ne occorsero soli 350 impiegando il vapore. Egualmente si è introdotto il vapore nel fuoco per mezzo di verghe vuote e forate formanti la graticola, e si è trovato che per una macchina di 12 cavalli senza far uso di vapore, si consumano 700^k di carbon fossile in 14 ore, e 550^k facendo uso del vapore.

È frequente l'uso di una forte corrente d'aria per alimentare la combustione, e questo si fa non solo nelle officine ove si vuole concentrato il fuoco sotto la viva azione del mantice (Vedi lavorazione del ferro *Intr.* 152), ma anche nei forni di fusione.

I tentativi che alcuni fecero introducendo una corrente d'aria sotto la graticola, e tenendo chiuso il ceneraio, non hanno ottenuto utile resultato per la combustione, e soltanto han mostrato un vantaggio per il caso che si difetti nella forza d'aspirazione del cammino.

Gli alti forni che si adoprano per fondere il ferro sono della forma (Tav. V fig. 5) di due tronchi di piramidi, o di coni contrapposti. In quello a cook rappresentato dalla figura, si ha da 54 a 60 piedi di altezza; in quelli a legna è da 25 a 35, e ciò per la maggior difficoltà nel bruciare il cook, e nel bisogno di una corrente d'aria ben forte. All'oggetto di bruciare con la conveniente rapidità il cook collocato insieme col minerale nella cavità del forno, e di non aumentare troppo la pressione dell'aria, si pongono due

tubi opposti pel vento che suol variare da 45 a 62 metri cubi per minuto. Soglionsi preferire tra le macchine soffianti, quelle a stantuffi. E poichè la quantità di fonte è proporzionale al vento usato, e viceversa, si può conoscendo la capacità del forno calcolare le dimensioni della macchina soffiante. I calcoli portano a fissare che un forno capace di produrre 16396^k di fonte per settimana, richiede una quantità d'aria lanciata per ogni giorno di 42154^k, o di 58^k,85 per minuto, cioè 48 metri cubi d'aria. Per prendere idea di tali macchine soffianti noteremo che sono analoghe alla macchina pneumatica (fig. 6 Tav. I) del sistema atmosferico, con le valvule invertite e con i due condotti AA che comunicano ad un gran recipiente, il quale rende più uniforme il soffio, e lo dirige ai porta-vento. Sono i porta-vento due e spesso tre, ed hanno ciascuno un doppio rivestimento metallico, al quale si dà il nome di ugello, percorso nell'interno da un filo d'acqua che ne impedisce il troppo riscaldamento e la fusione. Onde non si abbia troppa perdita di calorico si fa soffiare aria scaldata a 200°, ovvero a 300°, la quale arrivando con forza e in gran copia rispetto al carbone nello spazio prismatico S, chiamato presura, ove raccogliesi il metallo fuso, ivi si eccita una vivissima combustione che si propaga sebbene meno attiva negli strati più elevati del forno. Mentre l'aria attraversa gli strati del combustibile, fondente, e minerale alternati scendono in direzion contraria le materie fuse e bruciate quando il forno è in piena attività, ma non ponesi in tale stato che a gradi, e dopo più giorni di fuoco. Quel gas che poi esce dalla bocca prende nome di fiamme perdute, contiene in molta proporzione l'ossido di carbonio e d'idrogeno, ed è ben combustibile con sviluppo nella sua combustione di gran quantità di calorico. Si ritiene che questo calorico sia doppio di quello che viene impiegato nel forno, e per conseguenza si è pensato di utilizzarlo col servirsene a riscaldar l'aria della soffieria, o a qualche altro uso relativo alla fusione.

Riscaldamento dei quartieri, e di altri locali

69. *Sul riscaldamento dei quartieri* — La massima economia consisterebbe in tenere ben serrata la stanza, e applicarvi un regolatore che muti poco più dell'aria che occorre alla comoda respirazione. Giacchè è provato dalle esperienze che la sola respirazione dell'uomo è con queste regole capace a mantenere anche una temperatura di sopra a 20°. Quando voglia usarsi il riscaldamento con mezzi artificiali, potranno muoversi i calcoli dai seguenti principj. Resulta da molte esperienze che la perdita di calorico in una stanza è proporzionale alla superficie delle pareti, e delle vetrate; e che per mantenere 20° di differenza in eccesso a confronto della temperatura esterna convien produrre ogni ora 50 unità di calorico per ogni metro quadro di muro, e 80 per ogni metro quadro di superficie di vetro; e si dovranno alterare questi numeri in proporzione che debba variare l'eccesso di temperatura. Questa regola generale potrà nei casi che si voglia precisione, ridursi secondo i numeri seguenti delle unità di calorico, che si perdono in un'ora per ogni eccesso di 1.° di temperatura, e per un metro quadrato di

Vetro semplice	. . . .	3,66
Vetro coperto di mussolina	. .	3,00
Due vetri in contatto	. . . . .	2,50
Due vetri con aria interposta	. .	1,70
Muro di mattoni grosso	0m,20	2,25
	0m,40	1,25
	0m,60	0,90
Muro di pietra di taglio grosso	0m,20	2,75
	0m,40	1,60
	0,m60	1,15

Le dimensioni dell'apparato calorifero non possono porsi precisamente quelle che vengono dal calcolo, e dovrà loro darsi un'eccesso destinato a ristabilire il regime perduto durante il tempo della notte, o degli altri intervalli nei quali non si è tenuto fuoco. E per valutare appunto queste intermittenze si suole fissare la regola generale sopra riferita.

70. *Camminetti da quartieri* — Mostrano questi tutti i difetti dei fuochi aperti, per quanto non sia da trascurarsi l'attitudine che hanno a cambiare l'aria dell'appartamento rendendolo maggiormente salubre, e la e la piacevolezza che dà la fiamma alla comitiva che stà d'appresso ad un camminetto acceso. Onde tecnicamente valutando l'economia del calorico dobbiamo, come sono per dire, rendere minori i seguenti generali difetti dei camminetti.

1.° Notabilissima è la perdita che vien fatta di calorico atteso la gran quantità che ne reca seco l'aria calda che va per il cammino, ed attesochè manca un mezzo di comunicare il calorico condotto, e non è molto efficace quello per il calorico raggiante. A rendere tal perdita minore conviene regolare l'aria che sale pel cammino in modo che ne escano cinque metri cubi per ogni kil. di legna bruciate. Ed avendosi quasi il solo riscaldamento per quella irradiazione calorifica che permette questa natura di focolare, la quale è circa il quarto di tutto il calorico irradiato dal combustibile, si comprende il bisogno di migliorare le superficie interne riflettenti col farle bianche a lustro e rivolte verso la stanza.

2.° Si producono per la stanza correnti dell'aria fredda che serve ad alimentare la combustione, e che è tirata dal cammino. Limitando questa seconda cagione vien tolta gran parte del secondo difetto, e la prima si mitiga col dare in vicinanza al combustibile l'accesso dell'aria fredda, con tubi che portino in altra stanza.

3.° Spesso fan fumo nella stanza per il poco tirare del cammino: e questo accade perchè o non si è ancora scaldata la sua aria, o non accede liberamente l'aria fredda, o non è assai alta la cappa. Può anche la troppa altezza esser nociva dando tempo al fumo di raffreddarsi, come la troppa larghezza lasciando questa delle correnti aeree discendenti ai lati. L'esperienza ha mostrato essere tra 5 e 6 metri l'altezza conveniente al condotto del fumo per un caminetto, ed essere utile un ristringimento di sezione verso l'escita per dare all'aria celerità capace di vincere l'effetto dell'atmosfera, come pure una qualche diminuzione di sezione verso l'ingresso ad oggetto che scemi la velocità e la resistenza entro al rimanente del condotto.

Dopo queste osservazioni riporteremo alcune misure relative al camminetto del Rumfort, che il primo ha migliorato questo apparato domestico. La larghezza DD (Tav. IV. fig. 5) è 0m,75 e altrettanta è la profondità MM. Si fa NN = 0m,11, e si inclinano le facce laterali per 45°. Il

lato inferiore B del frontone deve discendere tra $0^m,75$, e $0^m,80$ dal piano F del fuoco, l'apertura BC non è che di $0^m,11$, ma è mobile il piano DC, e può girarsi indietro sovra la linea DD orizzontale, e stà d'ordinario inclinato in avanti per aver nella stanza più calorico riflesso.

Si possono per aumentare tal riflessione rivestire tanto le pareti laterali quanto la superiore di porcellane o maioliche verniciate. E ad evitare le correnti dell'aria fredda nella stanza, si farà entrare per un condotto A che venga dall'esterno quell'aria che ha da alimentare il fuoco. È molto utile un registro al principio della cappa, consistente in una ventola che moderi l'apertura, ed anche la chiuda del tutto quando la stanza è scaldata. Sarebbe ben pensato utilizzare anche il calorico condotto col far riscaldare dal fuoco una massa d'aria che si diffondesse nella stanza. Il fondo e l'imbasamento del cammino ov'è più viva l'azione del fuoco potrebbero alloggiare un condotto che ricevendo l'aria della stanza dall'apertura più bassa la ricacciasse nella stanza stessa da un'apertura un poco più elevata. Su questo principio è basato il camminetto di Desarnod.

Ad oggetto di far comprendere quanto sia interessante il meccanismo che regola la forza d'aspirazione del cammino, si indichi con V la velocità colla quale muovesi l'aria per il cammino, e con S la sezione di esso al primo ingresso, sarà VS il volume dell'aria che si muta in 1'' nella stanza, e moltiplicando per 1k,3 peso di un metro cubo d'aria a 10°, e per 0,25 capacità pel calorico dell'aria rapporto a quella dell'acqua, e per N numero dei gradi per cui si eleva la temperatura nella stanza avremo 0,325. N. V. S per le unità di colore che si han da somministrare dal fuoco dipendentemente dal solo rinnuovamento dell'aria. Che anzi a questo numero converrà aggiungere un quinto della massa d'aria che sta nella stanza, il quale in un'ora può aversi per rinnuovato per conguagliare la perdita di calore cagionata dalle pareti, finestre ec. E sulle prime quando viene acceso il fuoco al camminetto essendo piccolo il valore di V, e di N ancorchè grande sia S, non si avrà molto consumo di calore; ma quando comincia ad agire il cammino converrà porre $V=2^m$, e supposto $S=0,^{mq}125$ ed $N=16°$; il calore che si perde per il solo circolo d'aria sarà $0,325 \times 16 \times 2 \times 0,125 = 1,3$ unità in 1'' vale a dire in un'ora 4680 unità, e più del calorico che può somministrarsi da un kilogrammo di legna da ardere.

71. *Delle Stufe* — Sotto questa denominazione tanto comprendonsi quei recinti ove si mantiene costantemente una temperatura elevata, quanto l'apparato che si usa per la combustione. Io intendo parlare delle stufe in quest'ultimo significato, ed esse differiscono dai camminetti per avere un fuoco più chiuso, e per riscaldare più col calorico condotto che con quello raggiante, e tengono un posto di mezzo tra quelli, ed i caloriferi. I registri che esistono alle loro aperture, permettono che si moderi l'ingresso dell'aria, per cui si ha molto minor consumo di questo fluido, ed una combustione più lenta. Esse utilizzano assai di calore, e si ritiene che a parità di combustibile tra il camminetto, e la stufa sia il calore utilizzato nel rapporto di 19 : 122. D'ordinario non fanno fumo anche per la studiata forma dei tubi che conducono l'aria calda, e per le

serrature che ammettono alle porte del fuoco. Sogliono le stufe essere di ferro, o di terra; e queste due sostanze avendo notabili differenze per ricevere, per ritenere, e per trasmettere il calorico recano all'apparato alquanto diverso carattere. Ha trovato Peclet che per ogni metro quadrato, e per ogni grado di differenza tra la temperatura del corpo scaldato grosso un centimetro, e dell'ambiente trasmettonsi in un ora le seguenti unità di calore, mentre la conducibilità, e il calorico specifico han diversi rapporti.

	Trasmissione	*Conducibilità*	*Calorico specifico*
Dalla ghisa	9,9	33	12
Dal ferro battuto . .	3,93	33	11
Dalla terra cotta . .	3,85	1	24

Quindi scorgesi che per le stufe trasmissive è molto migliore il ferro fuso, ed in queste si usa un fuoco lento e continuato. Il ferro battuto non sembra dietro a questi resultati, adattato per le stufe, ma la trasmissione del calorico quando i metalli sono scaldati dal fumo non corrisponde a quella che mostrano i metalli scaldati dall'acqua o dal vapore. Il ferro fuso trasmette anche in questo caso più calorico che la lamiera, ma la differenza è piccola. La terra potrebbe esser preferita nelle stufe colligenti, cioè che han da conservare il calorico concepito: quindi in queste si fa un fuoco vivo per scaldare la massa, e dopo si chiude bene il cammino, e se trattasi di una stufa molto grande sarà capace a mantenere una temperatura dolce anche per 24 ore. Nell'une si avrà più risparmio di combustibile, nell'altra non converrà mai usare del combustibile leggero, ma solo di quello che brucia a tizzo. Tra tanti vantaggi le stufe di ferro fuso han l'inconveniente di produrre un poco di sito, sebbene non possono per questo aversi per insalubri. Si hanno poi anche maggiori vantaggi nell'usare il ferro per i condotti interni, col quale per la sottigliezza a cui può usarsi se è battuto, si ha dispersione di calorico nel fumo anche senza allungarli di troppo. Trattandosi di stufe di terra sono da preferirsi quelle di figura cilindrica per l'uniformità che hanno nella disposizione della lor massa, per cui restano meno soggette a crepare sotto la forte azione del fuoco. Per evitare questo inconveniente si sogliono in generale tutte le stufe di terra impastare nel loro interno con argilla mescolata con sterco di cavallo.

Nella stufa semplice il suo corpo non contiene che il fuoco, e di rado la superficie di riscaldamento è sufficiente per assorbire una parte considerabile del calorico sviluppato: Ha procurato Curandau di estendere quella superficie col costringere il fumo a far diversi giri prima che fugga per il cammino (Tav. VI fig. 2). Le freccie indicano la via che tiene il fumo nell'escire dal focolare A per incamminarsi alla cappa M, e le bocche B, B, ricevono l'aria dell'appartamento e la rendono le altre C, C, dopo averla scaldata nello spazio P. Riferirò un'altro disegno di stufa (Tav. VI, fig. 1) per parlare di quella a fiamma rovesciata che si compone di un tubo F a tronco di cono verticale interrotto ad una certa altezza da una graticola, sulla quale ponesi il combustibile levando il coperchio A che è munito di fori, e pel quale passa dall'alto al basso l'aria

che alimenta la fiamma. È circondato il tubo da due cilindri concentrici, e lo spazio lasciato dal secondo di questi, è diviso per diversi setti per modo da formarne dei tubi in lunghezza comunicanti fra loro, per i quali salendo e scendendo alternativamente l'aria, il fumo si porta da a all'ultima escita in b, e riscalda l'aria che rimane nel vacuo del cilindro intermedio. La figura rappresenta lo spaccato verticale sulla linea xx, e il taglio orizzontale sulla linea yy.

72. *Dei caloriferi*. — Appartiene esclusivamente ai caloriferi la proprietà del porre a contributo la conducibilità dei tubi, e di separare in totalità la combustione e il fuoco dal mezzo che si vuole riscaldare. E se abbiam trovato anche nelle stufe posti più o meno a profitto questi due caratteri, ciò avviene per non esistere una decisa separazione tra i differenti apparati che si usano nel riscaldamento dei quartieri. Io classerei i caloriferi in quelli a fuoco interno o con tubi fumiferi, ed in quelli a fuoco esterno, o con tubi ad aria da scaldarsi. In entrambi la dottrina della comunicazione del calorico col mezzo dei tubi caldi, e dello scaldamento dei tubi forma il cardine fondamentale della loro costruzione. E poichè comunicano il calorico con un tubo, occorre che la materia del tubo abbia molta conducibilità, che il contatto coll'aria da scaldarsi sia il più esteso, e che maggiore sia la temperatura del tubo: ne viene che la scelta della materia, la disposizione del tubo, e l'azione del fuoco sovra di esso han da essere convenientemente studiate. Un tubo di rame e di ghisa scalderà maggiormente che un tubo di ferro battuto, ed anche più che mai di un tubo di terra. Un tubo con strette circonvoluzioni andrà al massimo contatto coll'aria circostante; e quando le sue circonvoluzioni formino come degli strati orizzontali, sarà l'aria costretta a salire dal contatto di uno strato all'altro, e così si riscalderà maggiormente. Un tubo di stretto diametro farà facilmente scaldare l'aria che le si muove nell'interno. L'aria che scalda il tubo deve muoversi con poca velocità, e nel moto deve premerne le pareti, e scemerà la velocità se il tubo sia percorso dall'alto al basso, e si avrà la pressione contro la parete più alta, se sia collocato in direzione orizzontale. Le diramazioni dei tubi non saranno con egual resultato se si fanno in tubi ascendenti, o in tubi discendenti, poichè nel primo caso può muoversi l'aria tutta in un sol tubo, abbandonate le altre diramazioni, e nel secondo tutti i tubi di diramazione saranno occupati dall'aria calda in movimento per la minor velocità che ad essa conviene in tal direzione.

Nei caloriferi a fuoco interno, estendesi il riscaldamento per molta superficie, o si tiene concentrato. Quando estendesi si usa di porre tubi sotto l'impiantito della stanza che vuole scaldarsi, ed allora è bene che la parte superiore dei tubi sia tutta metallica, onde con facilità trasmetta il calorico, e la parte inferiore metallica essa pure venga rivestita di terra che impedisca ivi la trasmissione del calorico. Quando si tiene il riscaldamento concentrato, le circonvoluzioni dei tubi fumiferi si fanno in piccolo recinto che ha solo delle aperture (Tav. VI fig. 3: spaccato del focolare e del recinto, e sezioni orizzontali sulle linee xx, ed yy) verso il basso per l'ingresso dell'aria fredda, e delle più minute aperture al-

l'alto per l'egresso di quella calda, la quale poi entra nel quartiere da scaldarsi. Sempre ivi l'aria calda si farà giungere in basso, e potrà porsi alla bocca d'ingresso una ventola assai leggera che si inclini a seconda della corrente, indicandone a ciascun' istante la celerità. Mentre questa ventoletta può dar norma al riscaldamento, servirà anche di riscontro al consumo del combustibile. Il calorifero di Desarnod (Tav. VI fig. 4) ci offre l'esempio di una buona diramazione di condotti: nel circolo SS è la sezione al piano della graticola A, e lo spaccato verticale secondo la linea xx è determinato dal contorno delle stesse lettere SSSS. Si brucia il combustibile sulla graticola A ed in B esiste il ceneraio; i prodotti gasosi della combustione montando per il tubo C si raccolgono nello spazio D, e da quello per tubi discendenti GGG.. vanno in un condotto circolare H, H. Di qui rimontano per gli altri tubi EE... arrivano in un recipiente P, e sfuggono per il cammino. L'aria circola attorno a questi tubi scaldati, acquista calore negli spazi R R R, ed esce a riscaldare il quartiere o altro locale per le aperture T T T. Un doppio inviluppo S S S L L L trattiene ferma aria calda attorno al calorifero.

I caloriferi della seconda specie introducono nell'appartamento l'aria, che è stata riscaldata in luogo appartato col passare entro ad una gran serie di tubi di ghisa circondati dalla fiamma. Nella Tav. VI. fig. 5 vedesi 1.° l'elevazione di fronte del calorifero con le sue fasciature di ferro e le chiusure in I per il ceneraio, in H per il fuoco, in KK per pulire i condotti dell'aria bruciata, come vedesi in E E gli ingressi per l'aria fredda, 2.° il taglio orizzontale sulla linea xx che mostra la camera D dell'aria fredda introdotta per E E, il ceneraio C, e l'apertura F', 3.° il taglio orizzontale sulla linea yy, con il fuoco A, e con tutti i cilindri di ghisa, e con i condotti M M per l'aria calda i quali in $m\ m$ si elevano, 4.° il taglio verticale traverso sulla linea zz ove scorgonsi i condotti M M M M superiori e inferiori dall'aria bruciata, e due cilindri B B per l'aria da scaldarsi spaccati, e la camera superiore dell'aria calda F, con le posizioni E E dei condotti dell'aria fredda, e del ceneraio C, il tubo G dell'aria calda, e quello posteriore L dell'aria che ha servito alla combustione, 5.° tanto i tubi B, B, B.. quanto i condotti G, L, e le camere C, D, F si vedono egualmente nello spaccato verticale fatto sulla linea media uu, e tutte le altre aperture, e diverse parti che corrispondono sulle altre sezioni notate colle medesime lettere. È da avvertirsi che secondo Peclet questo calorifero è mancante di superficie di riscaldamento, e i tubi restano in parte troppo distanti dal fuoco. Verrà scemato il primo difetto, se porremo dentro ai tubi dei setti che difficultino un poco il passaggio dell'aria, come vedesi in V oppure delle sottili lastre metalliche ripiegate per tutta la lunghezza del tubo come vedesi in R; ed ancora rendendo molto piccola la forza d'aspirazione del cammino, come suol sempre farsi in tutti i caloriferi ed anche nelle stufe.

Il difetto di tal riscaldamento è di dovere introdurre in gran massa l'aria calda, e dovere espellerne altrettanta. Vero è che quest'aria espulsa escendo ordinariamente dalle porte e dalle finestre può considerarsi come la più raffreddata. Le migliori stufe, e caloriferi, utilizzano fino presso ad

un nono il calorico sviluppato nella combustione, sebbene spesso si hanno per buoni caloriferi anche quelli che ne utilizzano poco più che la metà.

73. *Riscaldamento dell'aria a vapore, e ad acqua.* — Con il riscaldamento a vapore ancor più che con i caloriferi si ottiene il resultato di tenere in un sol luogo e concentrato il fuoco, mentre il riscaldamento segue in più luoghi ed estesi; come di potere calcolare tutti gli effetti e dirigerli a quel grado che più piace. Infatti conosciuto il volume V dell'aria che si vuole scaldare ad una data temperatura t', e il peso Π di un metro cubo, e il suo calorico specifico c, e la sua temperatura t primitiva, sarà $V\Pi c\,(t'-t)$ il calorico occorrente, e $\dfrac{V\Pi c\,(t'-t)}{550}$ indicherà il vapore che si deve usare alla temperatura di 100.° Di qui possiam dedurre quanto combustibile, qual caldaja, e quali tubi converrà adoprare. Circa ai tubi può ritenersi che avendo $0,^{m}0015$ di grossezza nelle pareti in un' ambiente di 15.° condensino all' ora per ogni metro quadrato di superficie $1,^{k}5$ di vapore. La disposizione dell'apparato è la seguente: Si usa una caldaja di rame per ottenere conducibilità, la quale può essere assai sottile non dovendo il vapore avere che piccola tensione: da questa partono i tubi trasmissori che dovendo portare al luogo il vapore col minimo dispendio di calorico si tengono di diametro assai piccolo, ma non tanto che cresca troppo la loro resistenza, e involti in lana, carbone, ec.: e si innestano ad essi i tubi calefattori, ai quali si dà per la materia, e per la forma il massimo potere diffusivo pel calorico: si adattano alcuni tubi alle pareti in direzione verticale per scolar l'acqua che proviene dalla condensazione del vapore, la quale ha da ritornare nella caldaja: e si manda il vapore in essi dal basso all'alto, onde riscaldino il più possibile gli strati bassi. Tutta la massa d'aria da scaldarsi in ogni ora compreso il rinnuovamento sia calcolato dovere essere eguale a 100 metri cubi, e la sua temperatura deva essere elevata di 25.° Ritenuto il peso di un metro cubo d'aria $1,^{k}250$, e che la capacità del calorico sia quattro volte minore che nell'acqua, avremo da elevare di trenta gradi un peso di acqua

$$\frac{1000\times1,250}{4}=307,^{k}5$$

cioè $307^{k},5\times25=7687,5$ saranno le unità di calore che devono prodursi. Trattandosi di una sala le perdite di calore per le pareti, e per le finestre dovranno valutarsi al quinto seppure non si abbiano vetri stuccati, e vetrate doppie. E potremo portare il detto numero a 9225 unità. La quantità di vapore che occorrerà è

$$\frac{9225}{550}=16,^{k}77$$

per ora, e poichè in un metro quadrato produconsi almeno 40.^{k} di vapore per ora, la superficie di riscaldamento della caldaja sarà

$$\frac{16,77}{40}=0^{m},419$$

cioè due quinti di metro circa.

Allorchè si usa l'acqua per il riscaldamento, il tubo partendosi dalla sommità della caldaja, sale per una parete della stanza, ne attraversa il soffitto, discende per la parete opposta e ritorna verso la parte bassa della caldaja, ed in questo giro fa quelle circonvoluzioni che si credono convenienti. Quanto maggiori sono que-

ste circonvoluzioni tanto più l'acqua che si era inalzata nella parte ascendente del tubo per la dilatazione sofferta nello scaldarsi, perde della sua temperatura prima che ritorni alla caldaja, e và con maggior velocità. Quindi converrà che il tubo di salita custodisca il calorico, e gli altri lo disperdano. L'acqua è di maggiore economia del vapore quando il riscaldamento ha da durare molto tempo, e si deve eseguire in piccolo spazio, ma convien ben porsi in guardia contro le fughe dall'acqua dai tubi. Per mostrare anche su questo soggetto un esempio di calcolo prendiamo a produrre le 9000 circa unità di calorico richieste nel caso precedente per ogni ora, e riteniamo che l'acqua esca dalla caldaja a 80,° e vi rientri a 30.° Dovranno ogni ora escire dalla caldaja

$$\frac{9000}{(80-30)} = 180$$

litri di acqua. La temperatura dell'acqua che entra nella caldaia essendo di 30.° sarà di circa 50,° la temperatura media della colonna d'acqua discendente mentre quella ascendente è di 80°, e perciò il rapporto tra la densità del liquido in queste due colonne è di circa

$$\frac{1+50.\ 0,00046}{1+80.\ 0,00046} = 0,98$$

ed ammesso che le colonne d'acqua siano tre metri alte, la prima ridotta alla densità dell'altra, dovrà aversi per alta $3.^{m}0,98 = 2,^{m}94$ cioè il movimento dell'acqua sarà dovuto ad una pressione di 6 centimetri che porterebbe una velocità di $1,^{m}08$. Questa velocità verrà scemata dalle resistenze dei tubi e dovrà (*Idr.* 62) poi posto il diametro del tubo D = 0,06 tornare

$$v = \frac{Q}{s} = \frac{180^{k}.\ 2816}{3600''.\ 22.\ 0,0036.\ 1000} = 0,018$$

onde corrisponda al voluto movimento dell'acqua nella caldaja; e con questo dato si determinerà, usate le formule delle resistenze de' tubi, la lunghezza, e le svolte che posson darsi al tubo. Vedesi da questo calcolo che molte circonvoluzioni posson darsi al tubo, e che il moto si avrebbe anche facendo i tubi dell'altezza di un sol metro.

Dei Cammini.

74. *Forza d'aspirazione dei cammini.* — Ho riserbato il nome di cammino al condotto fumifero che è detto anche cappa, e dal quale principalmente proviene la forza d'aspirazione che fa muovere l'aria in tutto l'apparato della combustione. Abbiamo (43) determinata la velocità che i gas acquistano per la minor gravità che hanno rapporto al mezzo in cui si ritrovano per una colonna dell'altezza A, e posto a quella un divisore che indichi la diminuzione che reca nell'altezza teorica del cammino la forma e le pareti del cammino, sarà la velocità che acquista nel cammino il fumo, o l'aria la quale ha servito alla combustione

$$v = \sqrt{\left(\frac{2g\,\mathrm{A}m\,(t'-t)}{\mathrm{M}}\right)}$$

E ritenuto che la sezione alla sommità del cammino sia quadrata, e abbia D per lato, il volume d'aria che esce in 1'' è

$$Q_1 = \mathrm{D}^2\sqrt{\frac{2g\,\mathrm{A}m\,(t'-t)}{\mathrm{M}}}\text{, ed il peso}$$

$$Q' = \frac{1,^{m}3\mathrm{D}^2}{1+mt}\sqrt{\frac{2g\,\mathrm{A}m\,(t'-t)}{\mathrm{M}}}$$

$$= 1,3\mathrm{D}^2\sqrt{\frac{2g\,\mathrm{A}m\,(t'-t)}{\mathrm{M}\ \ (1+mt')^2}}$$

Onde in un dato cammino la quantità d'aria aspirata, dipende dalla espressione $\sqrt{\frac{t'-t}{(1+mt')^2}}$.

A questa espressione può darsi un valor massimo al variare della temperatura t' che ha il fumo, e trovasi con i consueti metodi dati dal calcolo differenziale

$$t' = \frac{1}{m} + 2t$$

e ritenuto $m = 0,004$, viene $t' = 250^\circ + 2t$. Questo massimo che ha luogo nella forza d'aspirazione mostra che la potenza di un cammino, cresce fino ad un certo limite colla temperatura, e al di là di questo, che è a circa 280°, il calore rapito dall'aria bruciata produce diminuzione d'efflusso, perchè agendo sovra aria troppo dilatata mentre aumenta la velocità di essa, non fa accrescere il peso dell'aria che esce. Si può ritenere come insensibile la variazione prodotta dal termine $2t$, e perciò io ho valutato che sia la temperatura dell'atmosfera 15.° Per mostrar poi come vari il valore della quantità di cui abbiamo cercato il *maximum*, eccone i valori che assume essa per le temperature t' sopra scritte, ritenendo $t = 15$

50° 100 150 200 250 300 350
3,23 6,61 7,25 7,56 7,67 7,67 7,63

cioè la forza d'aspirazione aumenta sulle prime rapidamente colla temperatura del fumo, e dopo i 200° l'aumento si fa quasi insensibile fino al *maximum* che corrisponde ai 280°; ed il decrescere si fa poi lentamente per le temperature più elevate. La massima portata di un cammino dà dunque per ogni secondo un peso di gas in kil. espresso da

$$1,3 . D^2 . 7,67 \sqrt{\frac{2gmA}{M}} = 4,44 . D^2 \sqrt{\frac{A}{M}}$$

ove A è l'altezza del cammino, D è il lato della sua sezione quadrata ed M è un coefficiente da determinarsi per mezzo dell'esperienza, o per mezzo del calcolo. In quest'ultimo concetto osserveremo che A : M essendo l'altezza del cammino ridotta per l'effetto delle resistenze dei condotti (48) si esprimerà con

$$A - \left(A - \frac{v'^2}{2g} \right)$$

e per conseguenza avremo

$$\frac{A}{M} = \frac{v'^2}{2g}$$

rappresentando v' la velocità ridotta per le resistenze del tubo, la quale si conosce colla dottrina del moto dell'aria per i tubi.

75. *Determinazione dell'altezza dei cammini, e temperatura media di essi.* — L'altezza del cammino avendo come si è ora veduto tanta influenza sul suo effetto, convien sia determinata, e conosciuta anche a confronto della lunghezza di esso. Supporrò che tutta la lunghezza del cammino superi l'altezza, e la rappresenterò con A + L, e riterrò che si tratti di un cammino cilindrico del diametro D, il quale sia rettilineo, o almeno abbia le svolte molto rotondate e trascurabili. Come ho detto qui sopra dovremo ricorrere alla dottrina del moto per i tubi, ed avremo

$$\frac{2gA}{M} = v'^2 = \frac{2gAD}{D + 2gk(A + L)}$$

e per conseguenza la velocità dell'aria calda nel cammino verrà data dalla formula

$$v = \sqrt{\frac{2gADm(t' - t)}{D + 2gk(A + L)}}$$

Da questa scopriamo che l'influenza di A è molta sulla velocità finchè L ha un valore molto più grande di A. Nel caso però che tutto il circuito sia ridotto all'altezza A, e possa porsi L = o, e sia come è d'ordinario D trascurabile rapporto ad A, avremo

$$v = \sqrt{\frac{mD(t' - t)}{k}}$$

cioè la velocità rimarrà indipendente dall'altezza del cammino. In quest' ultimo caso resta la velocità proporzionale alla radice quadrata della temperatura, e del diametro, e son questi gli altri due elementi che influiscono nella potenza del cammino. Nel primo caso è la velocità dell'aria in ragion suddupplicata dell'altezza del cammino, e nel secondo si ritiene che l'altezza del cammino sia grande. Eccedendo dunque il cammino in altezza non si fa che aumentare la sua forza d' aspirazione, ed alcuni stabiliscono che i cammini per il carbon fossile devono avere 10.^{m} d'altezza. Si possono usare altezze maggiori, e tra 30.^{m} e 40.^{m} si riguarda il limite per la difficoltà che si genera nella costruzione. Non però tanto vi influisce la temperatura a cagione che il peso dell'aria scema a misura che quella aumenta, e perciò la quantità dell' aria come si è veduto, aspirata dal cammino non cresce in proporzione della velocità che essa vi acquista. La forza d'aspirazione del cammino rimane quasi costante quando la temperatura è verso 280.° ed allora è quella al *maximum*. Perciò è un vantaggio nelle officine ove si fa grande uso di calorico, raffreddare il fumo fino a 280.° impiegando utilmente l' eccedente sua temperatura, e torna conto nei fuochi deboli, difendere il cammino dalle dispersioni del calorico, sebbene anche nelle caldaje a vapore ben disposte possa contarsi sulla temperatura media nel cammino di 300.° I cammini di muramento sogliono avere ad egual temperatura tutti gli strati dell'aria.

76. ***Determinazione della sezione del cammino.*** — La sezione del cammino influisce sulla velocità, e più ancora sulla portata Q poichè questa si ottiene dal moltiplicare la velocità per la sezione. Clement pone

$$D^2 = \frac{SQ}{\sqrt{Amt}}$$

essendo Q il volume di aria calda che deve escire in un secondo dal cammino. Seguendo il Peclet per determinare il *minimum* di sezione del cammino, consideriamo espressa con Rv^2 la somma delle resistenze nei meati che restano tra il combustibile sopra la graticola, ed aggiunto questo termine all'equazione del moto per i tubi abbiamo

$$P - \frac{v^2}{2g} = \frac{4L}{D} v^2 + Rv^2$$

e la velocità all'egresso del cammino sarà

$$v^2 = \frac{2gPD}{D + 2gkL + 2gRD}$$

Partendo dal consumo del combustile, dal volume dell'aria necessaria alla combustione, e dalla temperatura dell'aria bruciata nel cammino si può calcolare la velocità che dovrà prender l'aria nel cammino, e posto questo valore di v nell'equazione precedente si dedurrà il valore di R; ed il Peclet ha trovato $2gR = 12$. Ciò fatto indicando con n il peso del combustibile da bruciarsi per ora, e con q il volume di aria fredda necessaria alla combustione di ciascun kil. di combustibile: con t la temperatura di aria calda nel cammino, e con Q il volume di aria calda che deve fluire per ogni secondo si avrà

$$Q = \frac{qn(1+0,004t)}{3600}$$

supponendo quadrata la sezione del cammino e preso $k = 0,0025$ si avrà

$$Q = vD^2, \text{e } v^2 = \frac{2gPD}{D+0,05L+12D} = \frac{Q^2}{D^4}$$

cioè

$$D^5 = \frac{Q^2(13D + 0,05L)}{2gP}$$

equazione la quale può darci il mi-

nimo diametro del cammino, e facilmente purchè si usi il metodo approssimativo di trascurare sulle prime il termine 0,05 L, e di dedurre un primo valore di D, quindi posto questo valore nel secondo membro completo dell'equazione si rilevi più approssimato il valore di D. L'esperienza ha mostrato che sebben vari la quantità d'aria occorrente alla combustione a seconda della mole che hanno i pezzi del combustibile, pure può stabilirsi in metri cubi il volume dell'aria essere per un kil. di

legno ben secco.	10
legno al grado di essiccazione ordinaria.	7,50
buon carbon fossile	20,00
coke	18,00
buon carbon di legna.	18,00

Vogliasi per esempio determinare il *minimum* di sezione in un cammino alto 20,m nel quale l'aria calda trovasi a 300,° e che deve richiamar nel focolare l'aria necessaria alla combustione di 50 kil. di carbon fossile per ora, la lunghezza totale del circuito essendo di 40 metri, si avrà

$$2gP = 19,62 \times 20 \times 0,004 \times 300 = 470$$

$$Q = 50 \times 18(1+0,004 \times 300) : 3600 = 0,55$$

$$D^5 = \frac{0,27\ (13.\,D+2)}{470}$$

quindi per la prima approssimazione

$$D = \sqrt[4]{3,51 : 470} = 0,29$$

e per la seconda

$$D = \sqrt[5]{\left(\frac{0,27\ (13.0,29+2)}{470}\right)} = 0,5235$$

Se avessimo adoprata la formula di Clement si sarebbe ottenuto

$$D = \sqrt[2]{\frac{5 \times 0,52}{20 \times 0,004 \times 300}} = 0,328$$

onde scorgesi che il difetto di questa è in eccesso, e che a fatica può dirsi difetto mentre la troppa potenza del cammino sarà facile moderare con un registro o valvola M (T. IV. fig. 8) che serri all'occorrenza una porzione dell'apertura del cammino.

77. *Costruzione dei cammini*. — Generalmente si preferiscono i condotti in terra cotta, o in muramento perchè anche quando fatti di metallo presentassero maggior resistenza, si ha minor durata maggiore spesa, e più disperdimento di calorico. Quelli di lamiera di ferro dovrebbero rivestirsi di uno strato di calce esteriormente per preservarli dall'ossidazione. La forma della sezione più conveniente per quello che si è detto deve avere il *minimum* di periferia, cioè deve essere circolare, o di poligono regolare come il quadrato nei cammini fatti di muramento per la facilità nel costruirli. La figura verticale del cammino sarà prismatica internamente se non è molto alta ed all'esterno piramidale. E la forma piramidale si usa all'esterno ed all'interno nei cammini molto alti, e qui riporteremo le pendenze che si sono conosciute sufficienti per prova. Nei grandi cammini da officina la pendenza interna per metro corrente è da 0,m015 a 0,018, e la pendenza esterna varia da 0,024 a 0,030. La grossezza del muramento alla sommità è di 0,m10. E poichè è difficile mantenere regolare nell'interno e nell'esterno la inclinazione si usa di fare le due superficie parallele a tratti (T. VII fig. 2). Nei cammini che devono ricever l'aria ad una temperatura elevatissima come nei forni a reverbero è bèn costruire la parte interna a mattoni di terra refrattaria: il gesso non deve usarsi neppure negli altri cammini, giacchè ad una temperatura di soli 100,° comincia a perdere l'acqua, può bensì usarsi la calcina anche per temperature superiori alquanto a 300.°

78. *Diverse cagioni atmosferiche che alterano la forza del cammino*. — I venti son da porsi tra le prime di queste cagioni giacchè possono agire e sopra l' efflusso che si fa dalla parte superiore del cammino, e sopra l'ingresso dell'aria del fuoco dal ceneraio, o da altro condotto. Quando il cammino fosse isolato e terminato in una sezione orizzontale, il vento non potrà impedire la forza d'aspirazione del cammino, se non è diretto di alto in basso. Questa mai suol' essere la direzione che ha il vento seppure non viene riflesso da qualche superficie solida, come da un tetto, da un muro, da un monte ec. Inoltre l'effetto del vento sarà più sensibile quanto più debole era la forza d'aspirazione del cammino. Il canal d'ingresso dell'aria nel fuoco è d'ordinario orizzontale, e perciò la corrente del vento orizzontale ammenochè non sia ad angolo retto con quello influisce sempre sul suo effetto aumentandolo quando tende a cospirare, e diminuendo o quando tende ad una direzione opposta.

La forza che produce l' aspirazione del cammino è dovuta all'aumento di temperatura che vi si ha, per conseguenza quanto a più bassa temperatura è l'atmosfera tanto più è attivo il cammino. Ed anche per il fuoco giova che sia l'atmosfera a bassa temperatura, poichè l'aria contiene allora più ossigeno in minor volume, e produce più viva la combustione. Ancora i raggi solari introducendosi nel cammino fanno che il fumo retroceda: forse per l'aumento d'elasticità e di pressione che si fa in quella sezione; maggiormente agisce il calore solare. Egualmente quanto ha più pressione l'atmosfera, tanto più viva si fa per simil ragione la combustione, e maggiore essendo lo sviluppo del calorico, più grande, viene ad essere la forza d'aspirazione del cammino.

Come agisca l'umidità sovra i fuochi ben si comprende per la mancanza d'alimento che porta alla combustione. Ed essendo i tempi umidi e caldi indicati dal barometro con un abbassamento di pressione, sono per una triplice cagione dannosi alla forza d'aspirazione dei cammini. Al contrario le stagioni asciutte e fredde, nelle quali si ha più pressione atmosferica, saranno a tal forza le più favorevoli. La pioggia più efficacemente agisce a danno del cammino col raffreddamento che vi produce, particolarmente quando potesse penetrarvi dentro l' acqua. Relativamente all'aria calda, ed umida abbiamo inteso di stabilire un' effetto nocivo, perchè supponevamo moderata forza d'aspirazione nel cammino. Sommo però è il vantaggio negli alti forni di un getto molto celere di aria calda sul fuoco: come abbiam detto (68); e si è recentemente trovato utile, quando il cammino ha molta forza d'aspirazione, di mescolare coll'aria che deve alimentare il fuoco una quantità di vapore acqueo, sia dirigendolo direttamente nel ceneraio, sia dirigendolo in tubi vuoti, che formano le griglie o la graticola, muniti di molti piccoli orifizi.

79. *Modi di impedire che i cammini faccian fumo*. — Il primo e il più diretto è quello di aumentare con tutti i modi che abbiam sopra indicati la forza d'aspirazione del cammino, cioè col rendere maggiore la sua altezza, col mantenere meglio la sua elevata temperatura, coll'usarvi una sezione più grande di quello che si potrebbe ritener

per necessaria, e piuttosto moderarla con un registro. In alcune circostanze come nelle locomotive a vapore, si può introdurre nell'interno un getto di vapore che aiuta la forza ascensionale del fumo. Insieme con tali diligenze, ed anche quando non possano queste mandarsi ad effetto sarà bene munire la sommità del cammino di un'apparecchio che lo garantisca dall'azione dei venti, della pioggia, e dei raggi solari. Ecco alcune mitre, o aggiunte fisse (Tav. VI fig. 6), tra le quali pregiabile per la semplicità è quella della fig. E, per l'efficacia quando si possa tener netta dai ragnateli ed altri ingombri è quella della fig. F, che consiste in un tamburo di lamiera chiuso alla parte superiore, e che comunica per il basso con il tubo del fumo, ed è forato da un gran numero d'orifizi quadrati, i cui labbri volti dal dentro all'infuori a guisa di piccole piramidi. Ecco alcuni fra i tanti apparecchi mobili che han per oggetto di dirigere l'apertura al lato opposto a quello del vento, e di coprirla (Tav. VII. fig. 1). Ottimi se non avessero l'inconveniente di una certa complicanza, fragilità, o poca mobilità. Allorchè si vuole che il vento non pregiudichi al fuoco, convien dirigere di faccia al vento l'apertura del ceneraio, o del condotto ad aria. Allora potrà il vento anche aiutare la combustione. Adattati a mutare a seconda dei venti l'apertura del condotto d'aria sono gli stessi apparecchi mobili sopra indicati, applicandoli all'apertura dalla quale deve entrar l'aria anzichè alla sommità del cammino. Prendendo l'aria di fuori alla fabbrica dell'officina si ha il vantaggio di far passare nel fuoco dell'aria più fredda.

Dell'Illuminazione, e dell'Incendio.

80. *Cagioni della vivacità della fiamma, o della luce che essa sviluppa.* — Considerando che la fiamma dell'idrogeno puro non dà sensibil luce, e la dà viva quella dell'idrogene carburato; che la fiamma dell'alcool è smorta, e prende luce di diverso colore a seconda dei sali che si pongono a contatto dell'alcool che brucia; che l'aria tonante fatta escire per più strati di fitte reti metalliche da uno stretto orifizio può bruciarsi, e sebbene la combustione svolga fortissimo calore pure non dà luce, e la produce abbagliantissima sol che la fiamma dirigasi sopra una materia solida che non ne sia attaccata, come sarebbe la calce, dedurremo:

1.° Che lo sviluppo del calorico non è corrispondente allo sviluppo della luce; e per sviluppare il calorico occorre solo che la combustione segua completa e pronta.

2.° Che la luce si svolge quando il gas infiammato urta contro ad una sostanza fissa, o si agita con essa, purchè il calorico sviluppato sia sufficente a mantenere incandescente quella sostanza.

3.° Che per la produzione della luce il calorico sviluppato non deve eccedere e divenire capace di bruciare totalmente la sostanza che diciamo fissa, altrimenti mancherebbe l'incandescenza di questa materia e si farebbe minore la luce. Quando si somministra troppo ossigene alla fiamma di una lampada, scema la vivacità della sua luce, convertendosi quasi istantaneamente il carbonio in acido carbonico senza render sensibile primitivamente la sua incandescenza.

4.° La luce naturale del sole è

perfettamente bianca, mentre quella artificiale è più o meno rossastra. E le fiamme dei diversi corpi han diverso colore, e più principalmente nei lembi della fiamma che toccano l'aria atmosferica si manifestano più decisi i colori. Sembra che materie trascinate dalla corrente del gas della fiamma fino a contatto coll'ossigene vengano decomposte ed ossidate, e manifestino il colore dell'ossidazione.

5.° La intensità della luce si fa maggiore nella fiamma al punto ove meglio concorrono le dette condizioni. Nelle fiamme ordinarie è la luce più viva verso il mezzo della lunghezza, ed alla parte esterna. Quanto più suddivisa viene ad acquistar la fiamma più superficie, più luce svolgerà.

Il più delle volte il gas è l'idrogene, e la sostanza fissa è il carbonio; e il diverso modo che si usa per ottenere il gas ha dato luogo alle differenti illuminazioni, come la differente dose di carbonio o di altra sostanza fissa dà luogo ai differenti corpi che si accendono. Distinguendo lo svolgimento del gas nell'atto della combustione, dallo svolgimento in tempo precedente, e in luogo separato a quello della combustione, diremo qualche cosa delle illuminazioni ordinarie, e della illuminazione a gas.

81. *Della illuminazione a combustibile solido* — Non parlo qui dei fuochi d'artifizio sebbene possano dar luogo a brillantissime illuminazioni con la combustione della polvere, e neppure di certe accensioni di materie che danno una luce non usata per il troppo valore, come il clorato di potassa mescolato col zucchero che posto a contatto coll'acido solforico brucia con viva luce. Questa diede luogo alla formazione dei cerini fiammiferi, che furono usati per un certo tempo, ed avevano il vantaggio di mantenere sicura la sorgente di luce anche per molti anni, giacchè l'acido stando raccolto in un tubetto di cristallo chiuso ermeticamente, finchè non veniva quello schiacciato non si aveva la combustione del lucignolo postoli all'intorno intriso di pasta col clorato. Ai cerini successero gli stecchini fiammiferi, la cui pasta si compone di fosforo, zolfo, e clorato, dei quali l'uso è ora estesissimo per il minimo loro valore sebbene non vada disgiunto da forte pericolo d'incendio.

L'accensione delle candele forma un'oggetto di studio interessante per offrire l'apparato più semplice da illuminazione, e se unisse l'economia alla comodità certamente sarebbe il preferito. Ma se trattasi di candele di cera o di stearina si ha notabil prezzo, e se trattasi di quelle di sego la economia male compensa il sito. Nella combustione delle candele è il lucignolo l'organo che trasmette il calorico capace di fondere la materia vicina ad esso, che fa colla capillarità ascendere quella materia fusa fino al contatto della fiamma, e che la raccoglie mentre col mezzo del calorico si svolge in gas. Onde occorre procurare che il lucignolo assorbisca perennemente solo quella materia fusa, che può venir bruciata dall'aria, e trasmetta solo quella quantità di calorico che è necessaria a fondere la materia che deve essere sollevata. Un'eccesso di assorbimento darebbe una combustione incompleta e del fumo, ed un eccesso di trasmissione di calore farebbe fondere troppa materia che non potendo esser bruciata goccio-

brebbe. Si ha questo eccesso per esser troppo grosso il lucignolo, o per esser di sostanza troppo atta a condurre il calorico, e questi due caratteri del lucignolo vogliono essere convenienti alla materia che compone la candela. All'incontro quando sia il lucignolo troppo sottile non si estenderà la fusione nella candela fino all'orlo esterno, e si farà una insenatura nociva alla diffusione della luce, avrà luogo il gocciolamento, e scemerà l'attività della combustione per la mancanza del calorico. Egualmente nociva è la troppa lunghezza nel lucignolo, per la quale esce esso fuori della fiamma a contatto coll'aria, ed ivi diviene incandescente. Allora invece di bruciare, il combustibile che esala in troppa copia si carbonizza in forma di fungo, e priva la fiamma di calorico e di superficie, onde si scema moltissimo la luce. A questo inconveniente si giunge nelle candele principalmente di sego, se non viene di tanto in tanto smoccolato il lucignolo. Nelle candele di cera, ed in quelle di stearina per non smoccolare fu proposto con successo di intrecciare i fili che compongono il lucignolo. Essendo i fili in stato di torsione si sfa la treccia di mano in mano che si libera per la fusione del combustibile, e scotendosi e incurvandosi i fili escon fuori dal centro della fiamma, si bruciano e cadono in cenere.

Si usa nell'illuminazione la canfora per la bianchezza della sua fiamma.

82. *Dell'Illuminazione a combustibile liquido, e dei principali sistemi di lumi a olio.* — Posto in una capsula di porcellana l'alcool, che da per se darebbe poca luce ed azzurrognola, si fa bruciare con fiamma diversamente colorata con differenti sali

Sal marino . .	Gialla
Sal di potassa .	Violetta chiara
Nitrato di stronz.	Rossa carminio
Cloruro di rame	Azzurra
Acido borico . .	Verde

Si procura di dare alla fiamma il più di bianchezza e splendore col minor consumo di combustibile. Il carbonio, che trovasi nelle materie grasse e nell'olio, dà color giallo chiaro alla fiamma, e la liquidità rende preferibile l'olio per l'illuminazione. Sempre il liquido sollevato per la capillarità nel lucignolo al contatto del fuoco si converte in fluido aeriforme e brucia. Resta che si studi il modo

I.° di bruciare completamente l'olio in quella quantità che occorre, e

II.° di distribuire la luce nel modo più conveniente all'illuminazione.

Al primo scopo si riferisce la forma del lucignolo, e il modo d'accesso dell'aria. Un lucignolo che lasci molta superficie alla fiamma aiuta la completa combustione. Quelli ordinari a fasci di fili paralleli di bambage sono imperfetti se hanno notabile grossezza, perchè i fili più interni lasciano scaldare e scomporre l'olio senza che bruci, e fanno fumo. Quelli piani prendon differente temperatura tra le parti esterne e le parti centrali, e producono fiamma irregolare e fumo agli estremi. Finalmente quelli piatti e circolari colla corrente d'aria nell'interno sono i preferibili dando sottigliezza di fiamma, estensione nella sua superficie, regolarità nella combustione, e facile accesso all'aria.

L'aria può affluire liberamente, o col mezzo del cammino; nel primo caso non potrà aversi in essa che poca velocità, e per conseguenza scarsa

combustione; e nell'altro si avrà più copiosa combustione, venendo aumentata dalla forza d'aspirazione del cammino, la quale, come sappiamo, cresce colla temperatura, e coll'altezza del cammino stesso. I cammini che si formano ai lumi sono (Tav. VII. fig. 3) cilindri di vetro che si riducono dopo il gomito più ristretti onde conservino meglio il calore e costringan l'aria a volgersi verso la fiamma. Questa strettezza impedisce che possano esser lunghi, giacchè riscalderebbero di troppo e creperebbero, sebbene fossero anche di quel cristallo doppio che è giudicato il migliore. Deve la quantità d'aria che affluisce eccedere di non molto quella che è necessaria alla completa combustione dell'olio: una deficienza recherebbe fumo, ed un eccesso allungherebbe di troppo la fiamma e la scemerebbe abbassandone la temperatura. E poichè questa quantità varia secondo la natura dell'olio, e la temperatura dell'ambiente, sarebbe utile che si potesse l'altezza del cammino aumentare e diminuire per tentativi fino a trovare quella più conveniente. Si fanno d'ordinario i cammini in vetro incoloro, ma per accrescere bianchezza alla luce si potrebbe dar loro una leggera tinta bleu.

Lo scopo secondo conseguesi colla posizione del serbatojo dell'olio riguardo a quella del becco o lucignolo, coll'uso degli specchi, e coll'uso delle campane di vetro appannato. Allorchè vuolsi la luce diffusa con uniformità tutta all'intorno è utile tenere il serbatoio dell'olio in basso, e con ingegnosi apparati far montare con uniformità il liquido all'altezza del lucignolo. Il serbatojo dell'olio sollevato può colla teoria del tubo di Mariotte (*Idr.* 52) somministrare olio a misura che vien dal lucignolo consumato, ma lascia l'ombra dietro di esso. Può esser ben usato quando si vuol luce non in tutte le direzioni, ed allora i riflettitori opachi o specchi possono mandare ed invigorire la luce ove richiedesi. Per mandare la luce in basso è da commendarsi l'uso di un riflettitore di porcellana bianca che lascia passare una luce dolce per pellucidità della sua pasta, sebbene ordinariamente adopransi di sottil lastra metallica verniciati di bianco. Gli specchi parabolici han la proprietà di portare i raggi paralleli, e perciò mantenere l'intensità della luce anche a gran distanza quando il lume occupa il fuoco della parabola, nè interessa un'estremo rigore nella costruzione della superficie paraboloide non dovendo essere spinta che a limitate distanze. Per concentrare e diffonder la luce si useranno specchi sferici concavi o convessi ed anche lenti, e su questo soggetto molto può suggerire un buon studio sul bisogno particolare dell'illuminazione. Solo rammenterò che la luce troppo concentrata abbaglia e non illumina, e fa ombre troppo scure: che convien lasciare della luce diffusa, o differenti fasci di luce per avere estese penombre: e che lo specchio deve solo raccogliere quella luce che andrebbe nei luoghi che nulla preme siano illuminati: per es. gli specchi dei lampioni delle strade devono raccogliere solo la luce che si diffonderebbe nell'alto. L'uso poi delle campane o globi appannati è di somma utilità poichè sebbene indebolisca la luce, pure la rende più dolce e più diffusa disperdendola per lo inviluppo pellucido, ed emettendola come se emanasse dall'inviluppo stesso. . . .

Dopo queste cose generali credo utile riferire il disegno dei lumi più usati. A lucignolo piano (Tav. VII fig. 3) col cammino A, e senza (fig. 4) quando porta il lucignolo B parallelamente alla cassa dell'olio, e normalmente C onde resti più esposto alla corrente dell'aria. Lume d'Argant, che ha lucignolo cilindrico (*Idr.* Tav. III fig. 8), con doppia corrente d'aria e cammino. Lume astrale, che tende a dare costante ed uniforme alimento d'olio al lucignolo con un esteso canale circolare per il liquido nello stesso piano della fiamma (Tav. VII fig. 5). Lume sinumbra (Tav. VII fig. 7) che gode della proprietà di toglier l'ombra del cerchio per averlo più piatto ed inclinato all'esterno, e per portare una vasta callotta emisferica o campana di cristallo appannato. Questi lumi permettono di alzare e abbassare il cammino per cui può meglio regolarsi la corrente dell'aria, ed invece della cremagliera che suol mettersi agli Argant, hanno una vite (Tav. VII fig. 6) che meglio regola l'inalzamento del lucignolo. Sta alla vite connessa stabilmente alla parte superiore la galleria B che sostiene il cammino, e nell'incavo che essa ha alloggia il porta lucignolo C con un piccol dente che entra nel solco della vite: onde al girare la galleria, gira il cammino, e il porta lucilo sale per la spira della vite. Si vedono in uso adesso le lampade solari, le quali munite del meccanismo d'Argand hanno inoltre una più forte corrente di aria per la forma conica che presenta il vaso metallico verso il lucignolo con doppio rivestimento; che essendo riscaldato dalla fiamma, e lasciando all'aria uno spazio interposto, aumenta la forza d'aspirazione del cammino.

Lume idrostatico di Thilorier (*Idr.* 52 Tav. III fig. 9), e di Girard. In quest'ultimo la fontana d'Erone ridotta fa montar l'olio sempre alla stessa altezza (Tav. VII fig. 8). Tre vasi A, B, C son chiusi, ed hanno quattro tubi, D che fa comunicare il secondo vaso coll'atmosfera, E che fa comunicare il secondo col terzo, F che fa comunicare il terzo col primo, G che forma il becco della lucerna.

Lume meccanico di Carcel di Gotten di Gagneau, e di Jarck. Quello di Carcel (Tav. VII fig. 9) ha in un piede A B C D una tromba a doppio effetto, che al moto dello stantuffo M, dato da un meccanismo d'orologeria, fa passare l'olio dal recipiente T in N, e al lucignolo per il tubo sovrastante. Il lume di Gotten differisce dal precedente solo per aver egli usato (Tav. VII fig. 10) la tromba a stantuffi di membrane cedevoli (*Idr.* 199): con piccol movimento dato alla leva FE attorno all'asse G mediante la rotazione dell'asse K si alzano e si abbassano i dischetti D, G, e si aspira l'olio dal recipiente T per mandarlo nell'altro N, ed al lucignolo. Non meno ingegnosa è la riduzione fatta da Gagneau (Tav. VII fig. 11), ove basta che il movimento d'orologeria facendo girare la ruota G; essa con i denti a piano inclinato fa oscillare la leva falcata IL, e montare alternativamente e scendere i dischetti D, D. Per cui comprimendosi e rilasciandosi le sacchette di taffettà gommate che posano sù questi, l'olio passato per i filtri EE vien levato dal recipiente T, e vien raccolto in quello N. Il solo difetto di questa lampada è di dover cambiare il taffettà dopo qualche anno d'uso quando si è lasciato filtrare dall'olio. Fin da qualche tempo sono in maggior uso i lumi a moderatore di Jarck, in questi (Tav.

VII fig. 12) l'olio è spinto al lucignolo dall'azione di una molla o sosta spirale A, che preme costantemente lo stantuffo B. Si monta la sosta con rocchetto dentato C, e cremagliera terminata in asta, che si unisce alla parte centrale dello stantuffo; viene a riempirsi d'olio la cavità cilindrica D del lume, e dopo premuto il liquido dall'azione della molla sale per il tubo E fino al becco e al lucignolo. Onde regolare il movimento che sarebbe ritardato per la minor forza che resta alla sosta quando si spiega, e per la maggiore altezza alla quale deve allora salire l'olio, l'inventore ha fatto il tubo di due parti, l'inferiore F fissa allo stantuffo entra a fregamento in quella superiore, e perciò produce tanto più resistenza al moto, quanto più è carica la molla, o quanto più essa parte del tubo è internata nell'altra. I lumi meccanici, muniti come gli altri di cammino di lucignolo circolare e di doppia corrente d'aria, sono preferibili a tutti per la bianchezza della luce, per la loro brillante intensità, e per la mancanza di fumo e di odore. E da ciò scorgesi quanto interessi la regolarità nell'afflusso dell'olio per fissare le altre condizioni della completa combustione.

83. *Illuminazione a gas* — In questa il gas idrogeno carbonato, che è il combustibile, vien preparato separatamente ed in luogo appartato a quello dell'accensione. Si raccoglie in ampli gazometri, e dal tubo di ghisa che emerge sotto a questi dal livello dell'acqua viene trasportato ai tubi di distribuzione fino ai luoghi di consumo ed ai becchi dei lumi. Questi ultimi tubi sono di ferro battuto, e le estreme diramazioni che portano il gas al beccuccio sono di piombo, non di rame perchè verrebbero attaccati dal gas. Attesochè potrebbe nei grandi gazometri variare un poco la tensione può usarsi il regolatore di Clegg (Tav. VIII fig. 1) che ne rende uniforme la distribuzione. Comunica il tubo *a* col gazometro, ed il gas entra per questo da un orifizio praticato in un setto *xx* nel regolatore *cc*. Questo è un vaso di lamiera capivolto nell'acqua contenuta nell'altro recipiente BB, e che porta alla sommità fisso l'asse P. A misura che va celere il gas per il tubo *a* si inalza fuor d'acqua il regolatore CC tenuto in guida da due verghette, e siccome è di tal forma conica che l'aumento del suo peso è compensato dall'abbassmento del livello dell'acqua esterna, il gas nel suo interno, e nel tubo d'egresso *b* mantiene costante tensione. Mentre inalzasi il regolatore, vien pure inalzato l'asse P, il quale essendo di forma slargata a cono nella sua parte inferiore, chiude maggior porzione dell'apertura che è nel setto *xx*, e meno gas passa nel condotto *b*. Viceversa quando ha minor celerità il gas nel tubo *a* si abbassa il regolatore CC, e l'asse P; resta più aperto il setto *xx*, e più facile il passaggio pel tubo *b*, e si mantiene costante la tensione del gas, la quale è determinata dal peso del rogolatore, e dall'acqua che da principio è stata posta nel vaso BB. La piccola pressione che soffre il gas lo fa escir fuori dal becco quando è aperta la chiavetta con una certa velocità, ed ivi acceso una volta, seguita ad ardere. Ordinariamente è in forma di ventaglietta per i tre fori dai quali si fa escire onde sia colà suddivisa la massa del gas, e rimanga a maggior contatto coll'aria atmosferica. Non si han variazioni nell'intensità della fiamma se mantien-

sì costante la pressione nel gas che affluisce, e questa suol variare anche coll'essere accese nello stesso tempo o spente più faci a poca distanza. Ad oggetto di poter valutare la costanza di questa pressione, e di misurare la quantità di gas che consumasi in un dato tempo si adoprano quelli apparati che in francese diconsi *compteurs*. Questi per lo più compongonsi di un cilindro di lamiera chiuso coll'asse orizzontale (Tav. VIII fig. 2) entro a cui gira, per l'azione del gas affluente dal tubo A, una specie di mulinello formato da tre recipienti B, C, D, che si empiono, e portano il gas nella cavità esterna E, solo quando sono ripieni a cagione dell'acqua che occupa fino ad oltre la metà della capacità del cilindro. Il gas entrandovi dopo di aver fatto girare l'asse ne esce per passare al beccuccio, ed un'indice mosso da un'ingranaggio segna sovra una mostra i giri del mulinello, e il gas che è passato per il *compteur*. Fino al presente non si è ritrovato un modo adattato per porre gli specchi ai lumi a gas; il fumo che essi danno è sempre in copia ed anche il cattivo odore. Vi si usano i camminetti di cristallo, ed i globi appannati, e bellissima tanto con questi quanto senza è la luce che se ne ottiene. Può stabilirsi che la luce più brillante, e più economica si ottiene dal becco a doppia corrente d'aria, ove sono in maggior numero i fori, ove è più stretto il cammino, ed ove è più stretto il canale centrale. Dalle esperienze fatte è resultato che una fiamma di gas, come si usa per illuminare le strade, consuma in un ora

Gas di carbon fossile litri .	140
Gas di resina	60
Gas di olio	34

Onde il gas tratto dalle sostanze oleose e resinose è più ricco di luce, ed è più facile estrarnelo, ma costa assai più di quello levato dal carbon fossile. Può stimarsi quest'ultimo 87 centesimi di lira per 1000 litri, e perciò è tale illuminazione la più economica. I rapporti tra il valore delle differenti illuminazioni a parità di luce possono fissarsi nei numeri seguenti, che rappresentano la spesa assoluta in un'ora in centesimi di lira toscana; e la luce è quella di uno de' più perfetti lumi a olio che consumano 42 grammi di combustibile per ora

a gas	4,8
ad olio	7,2
a candele di sego.	12,0
a candele di cera.	21,6

Farò porre attenzione anche alle particolarità delle seguenti valvole, utili ad evitare i sinistri accidenti (Tav. VIII fig. 3): vedesi in M la valvula che ponesi ai grandi recipienti del gas, consistente in un piccolo recipiente capovolto che immergendosi nell'acqua chiude il tubo: in N la valvula che si usa nei *compteurs* per avvisare collo spengere i lumi la mancanza dell'acqua nello strumento: ed in P la valvula di sicurezza che può evitare i gravi inconvenienti se il gas soprabbondasse nei gazometri. Portano i gazometri alla loro estremità un gran cerchio di legno che è detto il freno perchè nell'emergere esso dall'acqua acquista il gas maggior tensione; e questo accrescimento di elasticità fa nella valvula sollevare la campanetta *hh* e la connessa *g* che esce fuori dell'acqua, per cui passa il gas dal tubo D all'altro E, dal quale vien condotto in luogo ove non noccia, come sarebbe alla sommità del cammino.

Sono difetti certamente dell'illuminazione a gas 1.° il non potere fa-

re con facilità lumi portatili: sebbene in qualche luogo si usi di trasportare il gas racchiuso in otri impermeabili senza comprimerlo.

II.° Un certo pericolo di esplosione. Sovra di che sarà bene avvertire che a garantirsi da ogni sinistro dovrà usarsi la precauzione di non entrare con lumi accesi nelle stanze chiuse, ove può supporsi che sia rimasto aperto un beccuccio, se prima non se ne è lasciata per qualche tempo aperta la porta.

III.° Il pericolo di far cadere in asfissia coloro che rimanessero o entrassero nelle stanze ove fosse spento ed aperto un beccuccio. E sovra di ciò basta avvertire che prima di aversi alcun pericolo si rende ben sensibile l'odore del gas.

IV.° Il nocumento alla salubrità pubblica recato dalle esalazioni della fabbrica del gas, e dalle infiltrazioni delle acque ammoniacali, o comunque infette nelle cisterne delle acque potabili. Per cui dovranno tali fabbriche tenersi in luoghi appartati, e la cisterna del gazometro dovrà essere a buona tenuta.

84. *Svolgimento del gas da illuminazione* — Si costruiscono i fornelli in mattoni refrattarj particolarmente ove rimane il fuoco: si pongono i recipienti, chiamati cannoni, per la decomposizione del carbon fossile anche a due ranghi (Tav. VII. fig. 13). In C e il ceneraio, in D il fuoco, e la fiamma circola nello spazio E tra le pareti interne del fornello, e la superficie esterna dei recipienti. Questi cannoni F sono di ferro fuso, in F′ si vede la bocca o otturatore del cannone, capace di esser posto ad altro cannone quando il primo sia consumato dal fuoco, in G l'aggiunta che fa corpo colla bocca e forma l' egresso al prodotto della distillazione, ed in H il tappo con staffa. La forma di questi cannoni è di barili ellittici colla parte appianata rivolta al fuoco, o meglio per l'economia del combustibile è di cilindri colla parte volta al fuoco rientrante. Sogliono avere 2,^{m}50 in lunghezza, e 0,^{m}34 in larghezza: contengono 100^{k} di carbon fossile: si portano al rosso colla combustione del coke: e seguita per 5 ed anche 8 ore la decomposizione del carbon fossile interno. Il coke caldo che se ne leva si usa per la combustione, ed è di maggior volume del carbon fossile che si è adoprato. Il fumo esce in S, e va direttamente al cammino, il quale è in comune ai molti fornelli simili che sono riuniti nello stesso muramento, e la sua sezione è la somma delle sezioni libere nelle graticole di quelli. I tubi dei cannoni conducono il gas in un primo recipiente A (Tav. VII. fig. 14) per raffreddarlo pescando per un certo tratto nell'acqua, e da questo un sol tubo lo porta ai vasi depuratori B, C, e poi al gazometro. Il gas che proviene dalla distillazione del carbone contiene oltre all' idrogene bicarbonato molto gas acido carbonico, e idrogene solforato, e per farli lasciare ambedue questi corpi eterogenei, e i sali ammoniacali che porta seco, si usa di passarlo per strati di fieno sparso con calce spenta. Si riguarda come privo dell' idrogene solforato quando non annerisce più la carta imbevuta di acetato di piombo. Per prodotti secondari della distillazione del carbon fossile, oltre il coke ottimo combustibile, si rileva il catrame utile direttamente in molti usi, e che distillato coll'acqua somministra un' olio volatile che sotto il nome di olio di nafta fa colla gomma elastica quella dissoluzione, che si

adopra per preparare i tessuti impermeabili. Dalle acque di purificaziocazione cariche di sali ammoniacali si rileva il solfato e l'idroclorato d'ammoniaca. È preferibile per la distillazione il carbone il più bituminoso, il *canel-coel* somministra fino a 320 litri di gas per kil.; la qualità media di carbone inglese dà circa 250 litri, e quella di carbon francese circa 210. Il carbon secco dà un prodotto che supera di un settimo quello che si ha dal carbon umido.

85. ***Resultati sulla intensità delle luci artificiali. Fotometro*** — Ritenuto che la intensità della luce sta in ragione inversa dei quadrati delle distanze, coll'avvicinarsi alla sorgente di una luce, e allontanarsi dall'altra, o viceversa, si può ottenere un' oggetto egualmente rischiarato dalle due luci, ed allora è facile dalla distanza di quella dedurre il rapporto delle loro intensità: così se una delle sorgenti è distante di 4^m. e l'altra di $7^m,5$ avremo

$$\frac{1}{4^2} = \frac{1'}{7,5^2} \text{ cioè } \frac{1}{1'} = \frac{1}{3,5}$$

Quindi il carattere da stampa reso appena distinto da due luci può servire da fotometro, ed anche il far passare per un cartone forato i due cerchietti luminosi sopra un piano. Non è molto che il Westone con un' ingranamento (*Mecc.* 291. Tav. XV fig. 4) fatto muovere per un'ellisse un bottone d'acciaio ben splendente ha ottenuto un' ingegnoso e comodo fotometro, perchè al moto celere restano permanenti le due ellissi date dalla riflessione sul bottone delle due luci, e può agevolmente giudicarsi quando esse abbiano eguale intensità. Il Leslie collegando l'intensità della luce coll'azione calorifica ha ridotto il suo termoscopio ad un fotometro, che può in qualche circostanza tornare utile. È stato dal Rumfond usato il principio delle eguali ombre analogo a quello degli eguali cerchietti luminosi, ma rimane più facile nell'uso perchè serve il proiettare sovra un piano due ombre che in parte si sopra-pongano, ed è visibile ogni differenza nella loro intensità. Ed a proposito della convenienza nella determinazione del lucignolo egli trovava che una candela dando 100 di luce quando è bene smoccolata, si riduce a dar 39 dopo 11', e 16 dopo mezz'ora, e torna a dar 100 coll'esser di nuovo smoccolata. Le variazioni di intensità di una bugia son pur comprese tra 100 e 60. Nei buoni lumi ad olio ove non esistono le variazioni di dimensione nel lucignolo, e nell'affluenza del combustibile, come in un lume alla Carcel, si è trovata sensibilmente costante l'intensità della luce. Avendo i signori Arago e Fresnel imaginato, per i fari a refrazione, le lampade a più lucignoli concentrici, sono state sottoposte al fotometro, ed è resultato, col confronto dei lumi alla Carcel, che la quantità d'olio in esse consumata è in proporzione colla luce prodotta. Lo che accadendo fino a quattro lucignoli, può dirsi che in tali lampade si riunisce il più gran potere illuminante nella più piccola estensione della fiamma.

Nove fiamme di candele corrispondono in luce ad una di gas, e ad un buon lume d'Argant. Una candela di cera di 4 a libbra consuma in un ora per 11 grammi, ed un piccol lume ad olio che consumi la stessa quantità, dà circa un terzo più di luce. Mentre uno dei più perfetti lumi ad olio consumerà circa quattro volte più di combustibile, ma darà dieci volte più di luce. Un lume

a lucignolo piano con cammino e ben disposto, il quale dia la stessa intensità di luce di un Argant a doppia corrente d'aria consuma un quinto più di olio. A volume eguale il gas di carbon fossile, confrontato con quello tratto dall'olio, bruciati ciascuno in un becco il più ad essi conveniente, mostra un potere illuminante per 4, mentre l'altro lo ha per 9 circa.

In generale il gas ha tanto maggior potere illuminante quanto maggiori sostanze oleose seco trasporta: quindi non è da confondersi quello levato dai diversi carboni, e molto meno dalle diverse sostanze grasse o bituminose: si scema di potere illuminante con sbatterlo nell'acqua, e si aumenta coll'agitarlo nell'olio. È stato detto che una quantità d'olio serve per un quinto del tempo che servirebbe il gas che potrebbesi rilevare dall'olio stesso producendo egual luce, e da questo principio si deduce il vantaggio degli apparati, come il termolampo, che separatamente svolgono il gas dall'olio, e servono per l'illuminazione. L'intensità della luce del petroleo stà a quella dell'olio di colzat, a quella del sego :: 1000 : 813,3 : 500,3.

86. *Dell' incendio* — Non parmi dover cessar di parlare delle combustioni senza dir qualche cosa di quella dell'incendio che non voluta, e compiendosi in luogo non adattato si estende con fiamme divoratrici, e con rapidità sempre crescente, e reca danno incalcolabile se non è estinta per tempo. Quindi negli incendi la prima cura è la sollecitudine, spesso sulle prime trattandosi di ben piccola entità. In secondo luogo deve conservarsi il buon ordine come quello che può salvare dalle aggiunte disgrazie, dalle rapine, e dalle male avvertite operazioni. In terzo luogo si pensa alle operazioni per salvare le persone e qualche prezioso oggetto dall'incendio, ed a quelle per estinguere la combustione, ed impedire lo sviluppo delle fiamme. Finalmente a caso disperato nell'incendio parziale si impedisce la propagazione di esso isolando il luogo che brucia.

Bene è per queste disgrazie avere organizzate e addestrate le compagnie dei pompieri, accorrendo queste munite di macchine, di arnesi, e di vestiari i più opportuni. La tromba da incendio (*Idr.* 254) è per la costanza del getto di acqua una delle macchine più pregiabili. Essi però hanno ben molti altri arnesi utilissimi: una maschera fatta a guisa di un cappuccio in maglia di lana imbevuta in idroclorato o solfato d'ammoniaca: dei legni fatti pure incombustibili imbevendoli con soluzione di siliciato di potassa, ovvero di potassa caustica: un'usbergo formato di rete metallica: dei larghi e lunghi tubi di tessuto, che posti obliquamente servono per gettarvi dentro anche da grandi altezze dei bimbi, o delle cose preziose: e mille altri oggetti preparati i quali possono giovare in quelle precipitose emergenze.

Sempre gran principio di sollecitudine e di ordine si ha nella catena delle persone posta dal luogo ove si prende l'acqua, o la terra, fino al luogo dell'incendio; esse barattansi di mano in mano il vaso pieno mentre torna indietro il vaso vuoto per quella stessa persona che ha consegnato il pieno. Un legame attivo e non interrotto fra i due rammentati luoghi forma il più efficace riparo.

Molti sono i rimedi che si suggeriscono per estinguere il fuoco; e il

primo consiste in toglierli l'alimento sia levando il combustibile, o l'aria che alimenta la combustione. Pessimo suggerimento è quello di aprir porte o finestre nella stanza dell'incendio; la combustione si estinguerebbe anche da per se quando fosse ben chiuso ogni accesso di aria esterna. Di qui ne viene l'uso di toglier l'aria al corpo che brucia sia coprendolo, o gettandovi sopra della terra, o dei materiali che possono aversi dalla demolizione della parte della fabbrica che brucia. L'adoprar la terra e questi materiali, è cosa anche più prudente che l'adoprare l'acqua, se non possa questa aversi che in scarsa quantità. Poca acqua si converte subito in vapore pel violento fuoco, indi si decompone, e somministra coll'idrogene un nuovo alimento alla fiamma. Molto vapore all'incontro può estinguere l'incendio, ed è stato suggerito di usare un forte getto di vapore. Si può soffogare la fiamma anche con altra atmosfera che tolga il libero accesso all'aria: così è stato detto che ad un cammino che arde si estingue la combustione col bruciare sotto la cappa o della paglia bagnata, o poca quantità di zolfo, o col chiuder la cappa, e anche l'apertura superiore, con panni bagnati. Se la cappa è assai robusta giova scaricarvi entro un colpo di fucile.

Adoprata l'acqua copiosamente reca senza dubbio il più sicuro rimedio all'incendio. Essa estingue la combustione col sottrarle il calorico, e per conseguenza dovrà esser lanciata sulle prime ove non è tanto vivo il fuoco per limitarne e circoscriverne l'azione, e di mano in mano sempre più ristringerne il campo. Non ha da perdersi l'animo nel vedere che da principio si aumenti coll'acqua il furore al fuoco, e sempre in maggior copia che si può e colla minore intermittenza possibile deve lanciarsi il liquido nello stesso luogo finchè non si è ivi il fuoco estinto. Le trombe prementi, e quelle più proprie per gli incendi sono da impiegarsi, e la manica cioè l'ultimo tratto del loro tubo, che suole esser flessibile in tutte le direzioni, vien diretta opportunamente per ottenere il getto dell'acqua al luogo occorrente. Sono state suggerite ed usate anche trombe potentissime mosse da macchine a vapore. Deve preferirsi presso l'incendio l'uso delle trombe a quello dei secchi, potendo questi servire, sempre passati senza interruzione con la catena delle persone, ad alimentare le trombe. Come si preferirà l'acqua salsa ove può aversi a quella dolce, ed in alcuni casi potrà giovare il gettare acqua che tenga spenta della calce, o per un ventesimo di potassa del commercio.

CAPITOLO V.

Della resistenza dell'aria. Applicazioni ai Globi areostatici, ai Paracadute ec.

Resistenza dell'aria.

87. *Analogia fra l'urto e la resistenza dell'aria.* — Tanto l'urto di un vento contro una superficie, quanto la resistenza che può questa superficie soffrire, movendosi nell'aria si riducono a pressione fatta sulla superficie urtata o mossa; e la pressione, fatta da un filetto fluido che

si muova contro un solido; non può essere di genere diverso da quella che il solido soffre quando esso si muove contro il filetto. Che se il Dubuat ritrovava deviarsi il fluido con maggior facilità, quando è il solido che si muove (*Idr.* 162), sembra tal differenza dovere esser più piccola quando si tratta di fluido aeriforme per la compressibilità, per la elasticità, e per la divisibilità maggiore nelle particelle della massa fluida. Pure ogni differenza che può esistere tra l'urto e la resistenza ci verrà indicata dai resultati sperimentali, e sarà compresa nel valore del coefficiente che ora la teoria ci porterà a porre nella formula. Per far meglio risaltare la enunciata analogià tra l'urto e la resistenza, mentre nell'idraulica ho dedotto la formula dal concetto dell'urto, prenderò ora a dedurla da quello della resistenza.

88. *Resistenza diretta* — Si muova un corpo in un fluido in riposo con superficie normale alla direzione del movimento, dicesi allora che la resistenza è diretta, e saran le particelle che sono incontrate dalla superficie costrette a deviare da una e dall'altra parte, e ad affluire tutte all'intorno alla parte posteriore del corpo. Sia B la superficie che il corpo oppone direttamente al mezzo, la quale supporrò piana, sia v la velocità, ed ev sia lo spazietto che in un tempo elementare t percorre: Bev sarà proporzionale al volume dell'aria che è stata dalla superficie deviata: e la forza viva che le avrà impressa, indicato con Π il peso specifico dell'aria, sarà proporzionale a

$$\frac{\Pi Bev}{g} v^2 \text{ come } \frac{\Pi Bev^3}{2g}$$

sarà proporzionale al lavoro meccanico che ha da fare il solido per generare la detta forza viva. Ora questo diviso per lo spazio ev darà una quantità pure proporzionale alla resistenza vinta nel moto della superficie B: dunque usato un coefficiente k da determinarsi coll'esperienza

$$k \Pi B \frac{v^2}{2g}$$

indica la resistenza, che per l'inerzia de' fluidi in riposo si oppone al moto diretto ed uniforme. Essa cresce proporzionalmente alla densità Π del fluido aeriforme, al quadrato della velocità v^2, ed all'area della superficie B mossa.

Quando la velocità non è tanto piccola, quella difficoltà che soffre l'aria a sfuggir davanti alla lastra o per ripiegare i suoi filetti può esser cagione di una resistenza che sia indipendente dalla velocità e di un valore sempre costante. Onde nella maggior parte di casi conterrebbe la formula della resistenza dell'aria anche un termine semplicemente proporzionale alla densità Π e alla superficie B, per cui usato anche l'altro coefficiente h costante sarebbe la composizione più precisa della formula

$$k \Pi B \frac{(h + v^2)}{2g}.$$

Il coefficiente k racchiude in se la maggiore o minor facilità con cui l'aria prende nel fuggire la velocità del corpo B, e l'effetto del rimanere i filetti centrali più dei laterali urtati direttamente: le quali resultanze ben si comprende non dovere esser costanti sempre nè sempre indipendenti dalla velocità. Da ciò ne viene che al resultato sperimentale occorre totalmente attenersi, e che non può far maraviglia se la resistenza non cresce per le grandi velocità in proporzione del quadrato di essa.

La velocità dei corpi che si muo-

vono nell'aria diconsi piccole quando non superano 10.^{m} grandi quando da questo limite si avanzano anche fino oltre a 600.^{m}

89. *Modo di fare esperienze sulla resistenza e sull'urto dell'aria; e resultati sperimentali.* — Un'asse mobilissimo sà due punte sia traversato (Tav. VIII. fig. 4.) normalmente da due bracci eguali, e all'estremità di questi venga fissato il corpo di cui vuolsi provare la resistenza, mentre è messo in moto rotatorio per effetto del peso che pende dalla cordicella avvoltata all'asse stesso. Il moto che acquista l'apparato nel discendere del peso ben presto riducendosi uniforme si viene ad avere nel peso la misura della resistenza sotto quella velocità che ha acquistata il corpo che è alle estremità dei bracci. Con un'altra esperienza smontato il corpo, può ottenersi la resistenza che proviene dai soli bracci, regolando il peso in modo che torni all'apparato la stessa velocità; e detratta questa dalla prima si ottiene quella dovuta al solo movimento del corpo. Questo è il metodo che hanno usato l'Hutton, e il Borda, ed anche in poco diversifica quello di Thibault. E sebbene possa opporsi che il moto circolare non è adattato a far conoscere la grandezza assoluta della resistenza delle superfici, pure esso sarà convenientissimo a somministrare dei valori comparativi. Il Newton ha fatto cadere nell'aria delle vessiche tese a guisa di sfera, ed anche dei globi di cristallo, e specialmente sulle prime la cedevolezza della superficie e il non conoscere il grado della elasticità dell'aria interna, ne han resi incerti i resultati. Dai sigg. Piobert, Morin, e Didion sono state fatte muovere con moto progressivo ed uniforme nell'aria alcune lastre quadrate e sottili. Dissi parlando del vento (47) come possa misurarsi la sua velocità e la sua forza, ed in alcune esperienze il Thibault ha per quest'oggetto usato il seguente anemometro. Entro un tubo vuoto sia una molla a spirale che possa comprimersi col mezzo di una verga situata all'asse del tubo, e saldata normalmente alla superficie contro della quale deve urtare il vento; mentre ricevesi l'urto col tenere il tubo nella direzione del vento, si avrà dai gradi per i quali comprimesi la molla la forza domandata. Ora raccogliendo i resultati datici da questi sperimentatori possiamo notare.

I.° Nelle piccole velocità la resistenza è quasi proporzionale al quadrato della velocità. L'esperienze del Borda furono eseguite sù lastre di una superficie da 0^{mm},0117 a 0^{mm}59, e con velocità che variava da 2,^{m}06 a 8^{m},87. Dalle esperienze dei sigg. Piobert, Morin, e Didion estese fino a 9^{m} di velocità si deduce che nella resistenza oltre al termine proporzionale al quadrato della velocità ve ne ha sempre uno costante sebbene sia di poco valore.

II.° La resistenza dell'aria cresce in un rapporto più grande che la superficie B che la soffre, e si ritiene che sia proporzionale a $B^{1,1}$

Esperienze	*Superficie*	*Resistenze*
Del Borda su lastre quadrate	1,00	1,00
	2,25	2,44
	5,06	5,97
Dell'Hutton sul circolo massimo di due semisf.	1,00	1,00
	1,80	2,06

III.° La resistenza de' fluidi è proporzionale alla loro densità, e poichè da un luogo all'altro, e da una stagione all'altra può variare notabilmente la densità dell'aria conviene nella formula introdurre il termine (8) che l'esprime

$$\frac{1^k,709.\,p}{1+0,004t}=\Pi$$

IV.° Il coefficiente, k il quale deve accompagnare la formula nella resistenza diretta che incontra una lastra può determinarsi dietro le precedenti leggi con i resultati ottenuti dalle particolari esperienze, ritenuto che il quadrato della velocità sia diviso per $2g$, e si è trovato

Esperimentatori	*Superficie*	*Coefficiente*
	$0^{mm},0594$	2,067
Borda	$0^{mm},0267$	2,047
	$0^{mm},0117$	2,048
Hutton	$0^{mm},0207$	1,899

Onde possiamo stabilire la formula della resistenza diretta per le piccole velocità, quando il moto è rotatorio e le pale non sono prossime l'una all'altra, per un gas qualunque

$$2,05\,.\,\Pi\,B^{1,1}\frac{v^2}{2g}\quad e\quad 0,129.\,B^{1,1}v^2$$

per l'aria, posto $\Pi=1^k,23$. Quando le pale sieno in molta vicinanza sovra una ruota la resistenza divien minore come vedremo

V.° Per il moto progressivo possiamo dedurre il coefficiente k dalle esperienze fatte da Thibault sull'urto del vento contro la lastra sottile piana dell'anemometro, e si avrebbe $k=1,85$, le quali confermano quelle antiche del Rouse che danno $k=1,87$, ed il valore ritrovato dal Dubuat $k=1,86$ per superficie che differiscono poco da $0^m,32$ per lato. Le esperienze del Mariotte fatte pure sull'urto cioè contro un piano immobile in un fluido in moto avendo portato un coefficiente più piccolo fan supporre che siccome era più piccola la superficie così anche in questo caso la resistenza vari con proporzione maggiore della superficie.

Nel caso che si muova la superficie, e si abbia non l'urto ma la vera resistenza al moto progressivo, l'esperienze dei sigg. Piobert, Morin, e Didion ci danno la formula

$$\Pi\,B\left(0,036+1,564\,\frac{v^2}{2g}\right)$$

ove vedesi che quando la velocità è più piccola di 4^m non può trascurarsi il termine costante, e quando è superiore fino a 9^m, limite al quale furono portate le dette esperienze, potrà anche usarsi la formula

$$1,56\,.\,B\,\Pi.\frac{v^2}{2g}$$

e perciò $k=1,56$. Sorprende veramente la differenza tra questo e i precedenti resultati, perchè non differiva nè l'estensione della superficie nè la velocità. Onde sembra potersi fissare che l'urto, e la pressione differiscono, ed è quest' ultima minore. I limiti tra i quali abbiam trovato variare il valore del coefficiente k sono 2,067 ed 1,564 meno discosti di quelli che abbiamo stabiliti nell' idraulica al §. 155. Ed io penso che a far progredire questa incerta e delicata parte della scienza convien tenere separate le dottrine dei gas da quelle dei liquidi.

VI.° Tenne conto Didion ancora delle accelerazioni o ritardamenti del moto, e dedusse per la formula della resistenza

$$\Pi\,B\left(0,036+1,564\frac{v^2}{2g}-1,164\,\frac{dv}{dt}\right)$$

90. ***Dell' urto obliquo, e resistenza su diverse figure de corpi*** — Senza dedurre da teorie il valore dell'urto obliquo, giacchè solo potrebbero ripetersi le cose che abbiam dette nell' idraulica, riferiremo i resultati sperimentali che se ne sono ottenuti. L'esperienze di Hutton quando si misura l'urto nella direzione del moto del vento, ed e ψ l'angolo che la direzione del moto del vento fa colla superficie urtata, portano come si disse nell'idraulica, quando uno è la resistenza diretta, ad esprimer la resistenza obliqua con la formula empirica

$$\frac{2\,sen^{2}\psi}{1+sen^{2}\psi}$$

Didion e i citati suoi compagni han fatto muovere nell'aria uniformemente un angolo, formato da due piani rettangolari riuniti in angolo a cerniera, verticalmente sotto diverse aperture, e con differenti velocità nella direzione del piano che divide l'angolo in due parti eguali, e la formula che indica i resultati delle esperienze è

$$\Pi\,\frac{B'\,\psi}{90^{\circ}}\left(0{,}036+1{,}564\,\frac{v^{2}}{2g}\right)$$

rappresentando ψ in gradi l'angolo che ciascun piano forma colla direzione del movimento. Qui vedesi un rapporto ben marcato con la resistenza di una sola lastra giacchè B' rappresenta la somma delle aree dei due piani, e rientra questa formula nella precedente quando $\psi = 90^{\circ}$. In generale per passare dalle superfici piane a quelle angolari o rotondeggianti è stato ricercato dal Borda il rapporto di resistenza che tra queste esiste, ed è resultato

Nel cuneo triangolare a facce piane tra l'angolo diedro e la base, quando l'angolo era 90° 0,728
Quando l'angolo era 60° . . . 0,520
Nel cuneo triangolare a facce curve tra l'angolo (incontro di archi di 60°) e la sua base rettangolare. 0,390
Nel semicilindro a base ellittica (semiellisse circoscritta al triangolo equilatero), tra la superficie convessa e la base rettangolare 0,430
Nel semicilindro circolare, tra la superficie convessa, e la sua base rettangolare 0,570
Nel semicono, tra la superficie convessa e la sua base triangolare, angolo alla sommità 90° 0,691
„ 60° 0,543
Tra la semisfera e la sfera intiera 0,990
Tra la semisfera e il suo circolo massimo. 0,405

91. *Resistenza delle superfici convesse e concave* — Un piano sottile e tre superfici cilindriche concave presso a poco circolari con arco di diversi gradi furono esposte dal Thibault alla resistenza dell'aria, ed anche una superficie curva a doppia curvatura somigliante alle vele de navigli. La projezione B di esse fatta sovra un piano perpendicolare alla direzione del moto era circa $0^{mq},1024$.

Superficie piana —	Resistenza	1,000
curva per 20°	„	1,030
„ 40°	„	1,054
„ 60°	„	1,070
curva a dopp. 50°	„	1,075

Provano quest'esperienze che si ha per la curvatura un piccolo aumento di resistenza e non fan travedere se quest' aumento abbia un limite corrispondente alla curvatura. Altre esperienze fatte sulle vele han mostrato che la loro resistenza diretta ed obliqua, quando hanno per frec-

cia un settimo circa del raggio, differisce pochissimo da quella del piano sottile della stessa superficie distesa e della stessa inclinazione, eccettuato per i piccoli angoli nei quali la resistenza diviene un poco più forte sulla superficie curva.

Una serie di analoghe esperienze è stata fatta dai citati sigg. Piobert, Morin, e Didion sovra un ombrello incerato tanto col farlo muovere nella direzione dell' asse contro il suo concavo quanto contro il convesso con velocità, da 0 ad 8^m, e ne è resultato che indicando con 1 la resistenza data da un piano eguale alla sua projezione B che era di $1^{mq},20$ si aveva nella superficie concava circa 1,94, e nella convessa 0,77, e precisamente veniva rappresentata per il primo caso dalla formula

$$1,59\ \Pi B \left(0,036 + 1,564 \frac{v^2}{2g} \right)$$

e per il secondo della superficie convessa

$$0,63\ \Pi B \left(0,036 + 1,564 \frac{v^2}{2g} \right)$$

92. *Pressioni sulla superficie del solido che soffre la resistenza, e poppa e prora fluida* — Come nell' idraulica qui pure devesi notare che a produr la resistenza concorre l'eccesso di pressione che si fa alla parte anteriore del solido, ed il difetto di pressione che ha luogo alla parte posteriore. Allorchè trattasi di lastre sottili il difetto di pressione si fa maggiore nella parte posteriore, e se vien la lastra mossa con velocità maggiore di quella con (57) cui l'aria rientra nel vuoto, può contarsi di lasciare un vuoto alla parte posteriore, o un difetto di pressione di un'atmosfera. Supposto il solido di forma prismatica quanto è d'essa più allungata meno è il difetto di pressione alla parte posteriore, e se avrannosi delle poppe, o delle prore formate con angoli solidi più o meno acuti si scemerà tanto l' eccesso che il difetto della pressione. Vero è che una poppa ed una prora può sempre ritenersi al corpo essendovi formata dal fluido, allorchè manca quella solida, ma quella non produce che in piccola parte l'effetto di questa. Intenderò qui riportati i resultamenti che il Dubuat ha ottenuto nelle sue esperienze, e che sono stati notati nell' Idraulica §. 159 poichè sono quelli indipendenti dalla natura del corpo, e da quella del fluido, e solo noterò che per una sfera può dirsi essere 0,6 il rapporto tra il di lei volume e quello del fluido trasportato.

93. *Resistenza dell'aria sulle sfere* — Le antiche esperienze di Newton, che si estendono a velocità di circa 4^m a 9^m al secondo, danno un coefficiente che porta circa la metà della resistenza che si sarebbe ottenuta sovra il circolo massimo in lastra sottile, e la legge sarebbe quella del quadrato della velocità, cioè rappresentandola con la formula

$$k\ \Pi B \frac{V^2}{2g}$$

si avrebbe il valor di k tra 0,497 e 0,537. Ben diverso è il resultato ottenuto con grandi velocità da Robins e da Hutton sovra projettili sferici d'artiglieria, e nella precedente formula il valore di k sarebbe dato dalla tavola seguente per i corrispondenti valori di V.

V	k	V	k	V	k
1^m	0,59	10^m	0,65	100	0,71
3	0,61	25	0,67	200	0,77
5	0,63	50	0,69	400	0,99
				600	1,01

Non ispirando tutta la fiducia questi

numeri che in parte provengono da interpolazioni dei resultati sperimentali, fu discusso l'argomento dal sig. Piobert partendosi dai resultati sperimentali ottenuti da Newton, Desaguilliers, Borda, Robins, e Hutton e ne trasse la formula per la resistenza

$$0^k,003\,B + B\,(1 + 0,0017\,V) \times V^2 \sqrt{0,012\,B + 0,00121}$$

sotto la pressione ordinaria dell' atmosfera cioè $\Pi = 1^k,25$ circa. Ancora questa formula non regge forse ad una seria discussione come accenna Poncelet e forse neppur l'altra che ha dedotta il Duchemin

$$0,512\,\Pi\,B\left(1 + \frac{V}{V'}\right)\frac{V^2}{2g}$$

ove V' indica la velocità dell' aria che rientra nel vuoto e sarebbe supposta (37) nelle ordinarie situazioni dell'atmosfera $= 416^m,34$. Converrà attendere migliori studi su questo soggetto tanto interessante per l'artiglieria.

94. *Resistenza presentata dal movimento dei prismi nell' aria* — Per quello che abbiamo accennato sull'esistenza di un'eccesso di pressione alla parte anteriore de' solidi, ed un difetto di pressione alla parte posteriore, dei quali principalmente il secondo varia con la lunghezza del solido si comprende che i prismi retti soffriranno una resistenza che mentre obbedisce alle altre leggi generali deve avere il coefficiente in relazione col rapporto tra la lunghezza del prisma, e la radice della sua area trasversale B, e deve ancora influirvi l' attrito della massa fluida contro le pareti del prisma. Pambour nel volere applicare l' esperienze del Borda, di Dubuat, e di Thibault ai prismi in moto nell'aria stabilisce la formula $R = 0,0625 . k\, BV^2$ ove oltre ad aversi le notazioni precedenti è

per la superficie sottile. $k = 1,43$
per un cubo . . . . . $k = 1,17$
per un prisma ove $\frac{L}{\sqrt{B}} = 3, k = 1,10$

Nè per le esperienze di Thibault può confondersi il caso di un corpo che si muove in un fluido con quello di un fluido che si muove contro un solido essendo alquanto maggiore la resistenza in questo secondo caso. Esse hanno inoltre dimostrato che se due superficie quadrate si cuoprono esattamente nella lor posizione relativamente al moto, sebben separate da un' intervallo eguale al lato di una di esse, la resistenza sofferta dalla superficie coperta è 0,7 di quella appartenente alla superficie anteriore. Onde se un seguito di prismi si muovono nell' aria, converrà per valutarne la resistenza di ciascuno aver riguardo alla distanza che lo separa dal precedente.

Applicazioni

95. *Calcolo del lavoro assorbito dalla resistenza dell'aria nel moto delle macchine, e principalmente da motori animati e dalle ruote idrauliche* — Tutte le macchine che si muovono con notabil velocità, soffrono una resistenza per effetto dell'aria, e questa dall' essere trascurabile nel maggior numero de'casi può giungere talvolta ad assorbire la più gran parte del lavoro. Nelle vetture, nei volanti, nei grandi roteggi, nelle macine, nelle ruote dei battelli ed anche nelle ruote idrauliche ha un effetto assai grande. Le ruote con le loro dentature, con le loro oscillazioni, e con la scabrosità che hanno all' esterno presentano all'aria una superficie di tre millimetri di larghezza e lunga quanto è il perimetro nella sezione della co-

rona della ruota, a questa deve unirsi la superficie dei denti, e poi si ha da prenderne i due terzi perchè rimane occultato uno di questi elementi superficiali dall'altro.

Nell'uomo posta la superficie che si oppone all'aria $0^{m},35 \times 1^{m},6 = 0^{mq},56$ presa la formula dei corpi sottili con l'aggiunta della prora a semiellisse, e trascurata la piccola differenza per il caso che fermo venga urtato dal vento, o muovendosi soffra la resistenza dell'aria, avremo essendo $\Pi = 1^{k},23$ che è il peso nelle ordinarie condizioni atmosferiche

$$R = 0,08 \times 0,430 \times 1,23 \times 0,56 \times V^2$$
$$= 0,0237^{k}.\ V^2$$

la qual resistenza non dà sensibile effetto quando si supponga che l'uomo cammini. Infatti il lavoro distrutto dalla resistenza dell'aria in un secondo sarebbe RV, e per uno che marci a passo assai lesto la velocità è di $1^{m},5$ per 1″ quindi

$$RV = 0,0237^{k}\ (1^{m},5)^3 = 0^{km''},08$$

per uno che corra potrem porre $V = 6^{m}$ al secondo ed allora

$$RV = 0,0237^{k}\ (6,^{m})^3 = 5^{km''}12$$

è una frazione considerabile del lavoro che può sviluppare un'uomo, essendo la quindicesima parte di un caval vapore, e più del lavoro continuo che può aversi da un uomo. La celerità dei più forti oragani non supera 45^{m}, onde un'uomo colpito da uno di questi venti, soffrirebbe per reggersi in piedi uno sforzo

$$R = 0,0237^{k}\ (45^{m})^2 = 47,^{k}99$$

superiore a quello che può fare, onde è costretto a curvarsi a terra per offrire il meno possibile di superficie al vento. Parlando del vento per stabilire una formula (46) generale e semplice ho posto il coefficiente $k = 1$, e ciò ho fatto con animo di aver riguardo approssimativamente alla forma del corpo urtato.

I cavalli presentano all'azione diretta del vento poco più superficie di un'uomo e si può prendere la resistenza contro di essi quand' han sopra l'uomo $R = 0,05.\ V^2$, e posto che abbiano nella gran corsa da spettacoli 16^{m} di velocità per 1″ si ha di lavoro speso

$$RV = 0,05^{k}\ (16^{m})^3 = 122^{km},88$$

quantità grandissima, e quasi doppia di quella che dà la forza dinamica permanente del cavallo che lavora 10 ore al giorno, onde comprendesi quanto si affatichino i cavalli nelle corse, e come per poco tempo possono resistervi.

Per le ruote munite di palette assai distanti hanno i sigg. Piobert, Morin, e Didion stabilita la seguente formola

$$R = 0^{k},100 + (0,0068 + 0,1179\ nb)\ V^2$$

ove rappresenta V la velocità nel centro delle palette, b la loro area comune, ed n il loro numero. E questa può applicarsi alle ruote dei battelli a vapore, ed anche per le ruote idrauliche. Sia la ruota del battello di 7 pale piane e rettangolari che abbiano ciascuna di superficie $0^{mq}64$, e col centro situato a $1^{m},5$ di distanza dall'asse, e faccia la ruota dodici giri per ogni minuto sarà

$$V = \frac{2.\ 22.\ 1,5.\ 28}{7.\ 602} = 4^{m},4$$

Onde avremo il lavoro consumato per la resistenza dell'aria

$$RV = 0,^{k}100\ (4,4) + (0,0068$$
$$+ 0,1179.\ 7.\ 0,64)\ (4,4)^3 = 46,^{m}02$$

e in due ruote $92,^{km}04$. La qual resistenza sebben piccola è tale da doversi tenere in computo, e da dover far preferire alle ruote a pale quelle ad elice (*Idr.* 247), ove non ha luogo la resistenza dell'aria.

In una ruota idraulica a pale mossa per disotto da una corrente la velocità non sarà che tra uno e due

metri al secondo, onde posto anche due metri e che le pale sieno ventiquattro, ed abbia nel resto la ruota le dimensioni che sopra, il lavoro perduto nella resistenza dell'aria è

$$RV = 0{,}100.2 + (0{,}0068 + 0{,}1179.24.0{,}64).\ 8 = 14^{km}{,}74$$

quantità assai debole, se si confronta con quello motore dell'acqua, o con quello che si distrugge nelle altre resistenze nocive, come sarebbe l'attrito sull'asse. Questa quantità può divenire anche minore nelle ruote a pale curve.

96. *Calcolo della resistenza dell'aria contro le palle da cannone* — Si abbia una palla sferica da 24 di ferro fuso il cui diametro è prossimamente $d = 0^m{,}148$. La superficie del circolo massimo è

$$B = {}^1/_4\, \pi\, d^2 = 0^{mq}{,}0172$$

ed il peso sarà presso a poco 12^k. Ammesso che la temperatura dell'atmosfera sia 12°, e la pressione 75° si ha

$$\frac{\Pi}{2g} = 0{,}06253$$

e per la velocità di 500^m al secondo il coefficiente $k = 1$, onde la resistenza dell'aria sarà

$$R = 0{,}06253.\ 1.\ 0{,}0172.\ 500^2 = 267^k{,}88$$

vale a dire enormemente più grande del peso della palla. Se poi supponesi di fare il calcolo per palle di diametro minore scemando il peso in proporzione del cubo del diametro, e la resistenza solamente in proporzione del loro circolo massimo, o del quadrato del diametro si aumenta anche maggiormente il rapporto tra la resistenza ed il peso. La stessa riflessione può farsi per palle di materia meno pesante, poichè non scema la resistenza allo scemare del loro peso.

Per quello che abbiam detto nei principii di meccanica (*Int.*110) si ha che la forza ritardatrice sarà

$$\frac{dv}{dt} = \frac{Rg}{(p + n\Pi)\,Q}$$

essendo p, Π le gravità specifiche rispettivamente del solido, e del mezzo, Q il volume del solido, nQ quello del fluido che vien trasportato da esso nel moto. Dunque il rallentamento del moto è tanto più rapido quanto la densità del projettile è minore. Trascurata la quantità n si ha nelle supposizioni di sopra

$$\frac{pQ}{g}\frac{dv}{dt} = R = 0{,}0010755.\ k\, V^2$$

$$\frac{dv}{dt} = 0{,}00088\ k\ V^2$$

Lo che mostra come debba, quando nei primi istanti del moto è $V = 500^m$, scemarsi la velocità per la resistenza dell'aria, e come piccolo effetto si abbia da questa resistenza a produrre quando la velocità è ridotta piccolissima e di un millimetro. Nel primo caso si ha

$$\frac{dv}{dt} = 0{,}00088.\ 1.\ 500^2 = 220$$

nel secondo

$$\frac{dv}{dt} = 0{,}00088.\ 0{,}59.\ 0{,}001^2$$

$$= 0{,}00000000052$$

cioè mentre in un'unità di tempo scema sul primo la velocità di 220 misure, sulla fine non scema in quella stessa unità che di un mezzo bilionesimo di quella misura per conseguenza con eccessiva lentezza si estinguerebbe il moto orizzontale del projettile se ciò dovesse accadere per la sola resistenza dell'aria. Anzi a tutto rigore non si estinguerebbe mai. Ma agisce la gravità, e fa cadere il corpo sulla superficie della terra, ove incontrando altre resistenze il projettile perde il moto. Piobert ha colla formula sopra riferita determinate le principali circostanze del moto orizzontale di projettili d'artiglieria lanciati orizzon-

talmente nell'aria in riposo, considerata allo stato medio di temperatura e di elasticità, come qui vedesi.

Velocità ridotte dopochè il projettile ha percorso lo spazio qui notato con S^m, o dopochè è trascorso il tempo notato T″

Projettili calibr.	peso	600m	500m	400m	300m	200m	100m	50m	0m
Palle da 36	17k,98	S^m—0 T″ - 0	196 0,358	450 0,950	830 2,045	1415 4,50	2575 12,85	8450 3910	12900 12517
16	7,97	S^m—0 T″—0	158 0,287	363 0,761	668 1,64	1133 3,60	2062 10,35	6788 318	10370 9842
8	4,02	S^m -0 T′ —0	130 0,236	297 0,625	548 1,34	933 2,95	1688 8,49	5580 261	8510 7986
Obici da 8	20,98	S^m—0 T″—0	130 0,256	298 0,626	549 1,35	935 2,95	1690 850	5800 262	8550 8483
6	10,56	S^m—0 T″—0	130 0,234	297 0,622	546 1,34	928 2,94	1680 8,45	5560 260	8490 8159
12	4,00	S^m—0 T″—0	95 0,175	219 0,464	402 1,88	683 2,19	1241 6,30	4180 194	6250 5925
Palle da fucili per baluar.	0,067	S^m—0 T″—0	48 0,087	110 0,228	201 0,493	344 40,8	624 5,11	2057 955	3125 2866
id. per infant.	0,0258	S^m—0 T″—0	34,5 0,06 2	79 0,164	144 0,353	243 0,778	446 2,23	1471 6,88	22,40 2063

Volendo per es.° trovare una palla da 16 quanto tempo impiega a ridurre la sua velocità da 500m a 100m, si ha 10″,35 — 0″287 = 10″,063; e quanto spazio avrà percorso durante questa riduzione di velocità, si ha 2062m — 158m = 1904m. Se occorrerà tal ricerca per proiettili di diverso calibro, o per velocità diverse potrà interpolarsi la tavola precedente seguendo la legge che scorgesi nei numeri.

Relativamente al moto verticale dei proiettili possono consultarsi i seguenti paragrafi, e solo qui riporterò le resistenze dirette opposte dall'aria ad una superficie unitaria di un metro le quali dovranno perciò nell'uso moltiplicarsi per la superficie del circolo massimo del proiettili

Velocità	*Resisten.*	*Velocità*	*Resisten.*
1^m	$0^k,037$	100^m	$444^k,2$
3	0,349	125	710,4
5	0,988	200	1924,4
10	4,069	300	5127,9
25	26,16	400	9360,5
50	107,7	500	1616,2

97. ***Resistenza dell'aria contro i vagoni*** — Il vagone non può dirsi propriamente un prisma per l'aggiunta delle ruote e di altre appendici, e per non aver sempre eguale la sua sezione trasversale a cagione delle mercanzie che trasporta. Le ruote, che si hanno agli ordinari vagoni di $0,^m914$ di diametro, ovvero tre piedi inglesi, unite alle altre appendici sporgenti, per i calcoli di Pambour e per i resultati delle sue esperienze, fanno aumentare pel primo vagone di soli 6 piedi quadrati la superficie resistente del treno, non potendovisi comprendere la superficie convessa delle due ruote anteriori che è valutata in quella del vagone. E la fanno aumentare di 10 piedi quadrati per i vagoni successivi, avendosi in questo computo avuto riguardo alle superfici che si occultano una dietro all'altra. Conseguentemente muovendosi un treno di vagoni sopra una strada a rotaie, per valutare la resistenza dell'aria contro la sua progressione si prenderà qual superficie resistente quella del vagone di più gran sezione, aumentata di 10 piedi quadrati per ogni vettura intermedia, e di 6 piedi quadrati per la prima vettura, compresa nel numero delle vetture la macchina stessa, ed il tender.

Nelle strade che han cinque piedi di larghezza, la superficie del più alto vagone può esser mediamente valutata da 70 a 74 piedi quadrati e quella della più gran carrozza da 60 a 64 piedi quadrati. Quando la strada abbia dimensioni maggiori saranno anche più grandi le superfici dei vagoni, e delle carrozze, e sempre si dovrà prendere la massima. Come anche se le ruote sieno di 5 piedi di diametro, dovranno usarsi i numeri 9 e 13 piedi quadrati, in luogo dei detti 6 e 10; e se l'intervallo tra un vagone e l'altro invece di essere di 2 piedi circa sarà aumentato, dovrà corrispondentemente farsi una qualche aggiunta alla resistenza dell'aria. Seguo pur Pombour ritenendo che si avrà riguardo alla lunghezza del treno col porre

per 5 vagoni . . . . $k = 1,07$
15 . . . . $k = 1,05$
25. . . . . $k = 1,04$

e ritenuto anche il numero di mezzo come costante, ed espressa la velocità in kilometri per ogni ora, avremo in un treno la resistenza dell'aria

$$R=0,0625.1,05\left(\frac{1000}{3600}\right)^2 BV^2=0,005BV^2$$

A far comprendere il valore di questa resistenza ne daremo un'applicazione. Riterremo che la velocità del treno, come suole essere da noi nelle vie orizzontali, sia di 33 kilom. all'ora, che la superficie della più gran carrozza sia di 64 piedi inglesi quadrati, e che si abbiano attaccate 12 vetture: e si otterrà

$$B=64+10,11+6=180^{pq}=16^{mq},522, \text{ ed}$$
$$R=0,005.16,522.33^2=89^k,958$$

vale a dire un treno ordinario da noi nelle più favorevoli circostanze, soffre per solo effetto dell'aria una resistenza costante di circa 90^k, e poichè la velocità supposta porta per ogni 1" circa $9^m,17$ il lavoro distrutto da tal resistenza in un secondo è .

$89{,}.\ 958.\ 9{,}17 = 814^{km}{,}9$

cioè di circa undici cavalli come vedesi dal dividere il numero ottenuto per 75.

Non abbiamo tenuto discorso dell'effetto del vento, il quale non può trascurarsi, ed a valutarlo se ne determinerà la velocità e la direzione. Se la direzione è cospirante o opposta a quella del treno si farà il calcolo della resistenza sulla differenza, o respettivamente sulla somma delle due velocità, del treno, e del vento. E quando la direzione del vento è obliqua, anzichè usar la formula soprariferita (90) si decomporrà, e si prenderà la componente coincidente, e si userà con quella come dianzi. L'altra componente normale, o in generale il vento normale alla direzione del treno, può ragguagliarsi valutando dalla sua velocità l'urto sul fianco del treno, e prendendone il ventesimo, giacchè a tanto può corrispondere la valutazione dell' accrescimento d' attrito, che il vento produce premendo il treno contro la rotaja.

98. *Calcolo della resistenza dell'aria contro i globi areostatici*, *e osservazioni sù quest' apparato* — Si fanno dei globi areostatici ad aria rarefatta, e a gaz idrogene. I primi detti alla mongolfier dall' inventore hanno nella parte inferiore l'apertura, presso della quale è il combustibile che mantiene l'aria calda e rarefatta nell'interno del globo. La loro figura non suole essere sferica, ma in sezione diametrale e verticale, analoga a quella di un battello. I secondi, provati per la prima volta da Charles, sogliono avere una forma sferica, per conseguenza la forza ritardatrice dell'aria nella loro ascensione può essere un poco diversa tra gli uni e gli altri.

Sappiamo dall'idrostatica (*Idr.* 19) che ogni corpo immerso in un fluido soffre una spinta verticale dal basso in alto, eguale al peso del volume fluido discacciato, onde essendo Π il peso specifico dell' aria, e Π' quello del gas, V il volume del corpo, P il peso dell' involucro, e degli accessori del globo areostatico, sarà la forza che lo fa sollevare

$$V(\Pi - \Pi') - P$$

Questa forza motrice produrrebbe un moto uniformemente accelerato, se non vi fosse la resistenza dell' aria, ma per questa, la forza acceleratrice riducesi conforme a ciò che si è detto in meccanica (173), mutate quelle notazioni colle altre qui usate,

$$\frac{dv}{dt} = \frac{g\left(\Pi - \Pi' - \frac{P}{V}\right)}{\Pi' + \frac{P}{V}n + \Pi'} - \frac{gR}{\left(\Pi' + \frac{P}{V} + n\Pi\right)Q}$$

E questo moto si ridurrà uniforme ogni qual volta si abbia

$$\frac{dv}{dt} = o \quad \text{ovvero} \quad Q\left(\Pi - \Pi' - \frac{P}{V}\right) = R$$

Nel caso di un globo di taffettà verniciato pieno di gas idrogene ordinario che ha per peso specifico un nono dell'aria atmosferica cioè

$$0{,}11 \times 1{,}23 = 0^k{,}135$$

al quale aggiunto il peso dell'involucro, e degli altri oggetti annessi, lungi dall'esser sorpassato quello dell'aria, se ne ha sempre una frazione assai debole. Sia il diametro della sfera 10^m il suo volume sarà presso a poco $523^{mc}{,}6$, il peso dell' aria trasportata nel movimento

$$n\Pi Q = 0{,}6 . 1{,}^k23\ 523{,}6 = 386^k{,}41$$

enorme come vedesi, perchè quello del gas idrogene è soltanto

$$523^{mc}{,}6 .\ 0^k{,}135 = 70^k{,}69.$$

I pesi aggiunti di corde, involucro, areonauta, strumenti, navicella ec. sia 370^k. quantità che poniamo eccedente perchè non teniam conto del-

la resistenza nell'aria di questi corpi, nè dell'essere stabilito questo peso nell'aria anzichè come si dovrebbe nel vuoto. La forza che fa sollevare il globo sarà il peso dell'aria discacciata $523^{mc},6 . 1^k,23 = 644^k,03$, meno il peso di tutto il globo

$$70^k,69 + 370^k = 440^k 69$$

cioè $644^k,03 - 440,69 = 233^k,34$. E verrà a ciascun istante dalla resistenza dell'aria $R = 0,00253\,Bv^2$ scemato l'acceleramento che essa produrrebbe. Quando vogliamo conoscere qual velocità avrà il globo a ciascun tempo del movimento, supposto che l'atmosfera sia un mezzo uniforme, converrà ricorrere all'equazione della forza acceleratrice. Ed essendo $B = 3,1416 . 25 = 78^{mq},54$; $R = 4,91 k v^2$

$$k = 0,64$$

sostituiti questi valori otteniamo

$$\frac{dv}{dt} = \frac{9,8(1,23 - 0,84)}{0,84 + 0,6 . 1,23}$$

$$- \frac{9,8 . 4,91 . 0,64 . v^2}{(0,84 + 0,6 . 1,23)523,6} = 242 - 0,037 . v^2$$

ovvero

$$dt = \frac{dv}{2,42 - 0,037 . v^2}$$

$$= \frac{dv}{0,037(8,09 + v)(8,09 - v)}$$

$$= \frac{1}{0,037 . 0,67}\left(\frac{dv}{8,09 + v} + \frac{dv}{8,09 - v}\right)$$

Ed ora integrando, e determinando la costante per $t = o$, quando $v = o$, avremo

$$t = 40,34 \log \frac{8,09 + v}{8,09 - v}$$

ovvero

$$v = 8,09 \frac{e^{\frac{t}{40,34}} - 1}{e^{\frac{t}{40,34}} + 1}$$

rappresentando e la base de logaritmi neperiani. Senza dedurre i diversi numeri che sarebbero sempre inesatti, ci limiteremo a notare che il globo parte da terra colla minima velocità, e accelera il suo moto, ma gli acceleramenti si fanno sempre più piccoli per cui tende a ridursi al moto uniforme, e vi giungerà esattamente dopo un tempo infinito, ma con approssimazione anche più presto di quello che indicano i numeri decrescendo in alto la densità dell'aria.

Cogli stessi principj si farebbe il calcolo per una mongolfiera, se non che avendo questa un volume troppo dissimile dalla sfera si può usare per la cubatura la formula del volume dell'ellissoide, crescendo cioè il volume della sfera iscritta in proporzione della lunghezza all'altezza del pallone. Riteniamo che colla larghezza di 10^m sia l'altezza di metri 14, si valuterà il suo volume per

$$\frac{523,6 . 14}{10} = 733^{mc}.$$

Onde ritenuto che il peso specifico dell'aria calda sia $^2/_3$ di quello dell'aria atmosferica, e si abbiano 250^k di peso d'involucro ed altri accessori, la forza ascensionaria della mongolfiera sarà

$$733 (1,23 - 0,82) - 250 = 50^k,5$$

capace cioè di sollevare anche un'uomo. Circa alla resistenza può porsi che scemi rapporto a quella del pallone sferico nel rapporto di 40 : 39, sebbene questo sia ben piccol vantaggio non avendo influenza che sulla celerità del movimento.

99. *Osservazioni di pratica per empire, e regolare i globi areostatici* — La forza ascensionaria del globo varia molto secondo il gas di cui vien ripieno. Quando si riempisse di gas idrogene puro il suo peso è un quattordicesimo di $1^k,23$, che rappresenta quello dell'aria; di gas idrogene ordinario è un nono, di gas da illuminazione è la metà, di aria rarefatta è $^2/_3$ ed anche di più, se viene a scemare il calore. Onde per ottenere in generale la forza dopo aver

trovato il volume del globo, e dopo di averlo moltiplicato pel peso specifico dell'aria scemato di quello del gas, si sottrarrà dal numero il peso dell'involucro, e quello dei pesi addizionali. Il peso dell'involucro suole ragguagliarsi ad un quarto di kil. per ogni metro quadrato di superficie; e siccome diminuisce la proporzione di questo peso nei volumi più grandi, e dei pesi addizionali, ne viene che la forza ascensionaria del globo cresce assai più del cubo del loro diametro. Per cui potremo prenderne l' idea assoluta anche senza far calcoli dal confronto con quelli contenuti nel paragrafo precedente.

Per preparare una sfera con delle strisce piane e strette, che soglion dirsi fusi, si fanno in numero di 24 e si usa la seguente regola. Sia A (Tav. VIII f. 6) il raggio del pallone, si descriva il quarto di cerchio ADG, e si prenda la sesta parte di questo quadrante, e fatte le sei divisioni eguali si tirino per quelle le parallele B1, C2. D3, E4, F5. Dipoi sovra una retta indefinita MN' si portino 12 parti eguali alla corda dell'arco AB, e per i punti di divisione si tirino delle perpendicolari le quali determineremo nel modo seguente. Prendasi il mezzo dell'arco AB in K e si tiri OK, si faccia centro in O, e coi raggi B1, C2, D3, E4, F5 si descrivano gli archi *b*1, *c*2, *d*3, *e*4, *f*5, le corde dei quali prese sovra ambedue i lati della linea MN' determineranno le lunghezze delle perpendicolari, ripetendole sul lato del estremo N quanto sull'altro di N'. Unite poi con un tratto continuo le estremità di quelle perpendicolari, resterà formato il fuso che volevamo disegnare, e 24 di queste copriranno la sfera. Nelle sfere molto grandi non può prendersi come abbiamo noi fatto la corda per l'arco in $^1/_{24}$ della circonferenza, e si farà una suddivisione doppia formando 48 fusi. Inoltre si lascerà sovra ambedue i lati del fuso una strisciola, che serva per la cucitura.

I globi ad aria rarefatta si faranno nello stesso modo, se non che si chiuderà il globo con meno fusi del numero che ha servito per il fondamento della divisione, ed a ciascun fuso si lasceranno alle ultime due divisioni le perpendicolari in eguali lunghezze alla penultima perchè prendano la figura allungata, e lascino una grande apertura alla lor parte inferiore. La tela che si adopra è preparata con una soluzione di solfato di allumina, o di muriato d' ammoniaca, affinchè sia meno attaccata dal fuoco. Un pallone ad aria rarefatta si gonfia bruciando della paglia sotto l'apertura inferiore. Un vaso a graticola si tiene nell' interno e presso l' apertura per potervi di tanto in tanto gettare delle paglie, e mantenervi il fuoco. La galleria riman poco distante, circolare, e forata nel mezzo, ove potrebbero cadere i residui del fuoco. Con una mongolfiera magnificamente ornata col diametro orizzontale di $15^m,59$, e con quello verticale di $20^m,79$ fecero *Pilatre de Rozier* ed *Arlandes* il primo volo umano; e con simil globo, ma di 25 metri in diametro si vide per la prima volta volare in Milano, e fu il Cav. Lunardi stesso l'areonauta, con altro compagno. Nei palloni piccoli un recipiente che sostenga un lucignolo di cotone, o di lana che tiri fuori solo quel poco di alcool o di grasso che occorre alla combustione, può esser l'apparato per mantenere il calorico. Si è veduto ultimamente dare spettacolo di ascensione anche di un uomo col solo primitivo riscaldamen-

to del pallone, facendolo cioè partire con notabil velocità dopo avere spento il fuoco. Il Zambeccari combinò insieme i due metodi a gas e ad aria rarefatta, e diede al globo a gas un diametro $12^{m},91$, unendo al medesimo per di sotto la mongolfiera in una specie di cono troncato con diametro superiore di $5,^{m}4$ e con diametro inferiore $1,^{m}3$. Per potere encomiare la semplicità e l'economia della mongolfiera converrebbe che più remoto fosse il pericolo dell'incendio.

L'areostato dovendo avere l'inviluppo il più leggero possibile, e resistente, si forma quello con tessuto in seta leggero, o taffettà ingommato da ambedue le parti. Per questa operazione si preferisce la vernice coppale mescolata con olio reso seccante col farlo bollire col litargirio. Si cuciono i lembi dopo averli incollati, si ribattono, e si chiudono i fori con un nuovo strato di vernice. Il peso del taffettà preparato è quello che ho detto di sopra per la superficie del globo. Ad accrescere resistenza all'involucro del globo e per attaccare ad esso stabilmente la navicella si prepara una rete di cordicella che lo involge (Tav. VIII fig. 5) alla parte superiore, e con i suoi tratti va ad unirsi alla navicella: ed il peso delle cordicelle che compongono la maglia è di circa $0^{k},4$ per metro quadrato. Sulla parte superiore dell'involucro agisce tutto il peso dell'involucro stesso, e perciò conviene ivi avere maggiore stabilità e vi si fa più fitta la rete. Alcune volte porta il globo al suo equatore unita una striscia alta di taffettà che lo circonda pendente, e fa l'ufizio di paracadute nella discesa.

A misura che ci solleviamo nell'atmosfera essendovi minore la pressione il gas racchiuso nel globo tende ad espandersi, e acquista una forza elastica nell'interno maggiore di quella esterna dell'atmosfera. Sarebbe l'eccesso di questa forza nocevole se non vi si ponesse riparo col lasciare partire il globo per circa un quarto della sua capacità vuoto, onde nel sollevamento si aumenti da per se il volume. Suolesi ancora lasciare una comunicazione alla parte inferiore del globo, che aprendosi per la tròppo cresciuta elasticità interna, può mantenere una comunicazione coll'esterno. Utile è di avere un'apertura alla parte superiore ben chiusa da valvola pressata con molla contro i bordi, la quale l'areonauta possa aprire mediante una corda, non solo per fare escire il gas eccedente che preme di troppo la superficie interna, ma anche per diminuire se piace la forza ascensionaria, o per estinguerla se vuolsi discendere. Che se occorresse accrescere questa forza conviene alleggerire la navicella ove è l'areonauta. Ivi a tale oggetto suol portarsi della sabbia fine in sacchi, che partito l'areonauta con pochissima forza ascensionaria per aver sulle prime poca velocità, lascia cadere all'occorrenza; ed anche una palla di metallo ben pesante che egli cala con una corda sulla terra quando vuole ancorarsi in una posizione. Il barometro, la bussola, dei leggerissimi mulinelli a ventole son strumenti interessanti all'areonauta, e moltissimi altri meccanismi particolari sarebbero da rammentarsi se non temessi di troppo dilungarmi. Solo ricorderò il globo secondario N del Gerli, che serve per decidere la salita o la discesa, secondochè dall'areonauta si avvicina al globo principale, o allentata la corda, vien lasciato libero che da questo si allontani.

Il gas per riempiere i globi potrebbe aversi puro, e con poca spesa dalla decomposizione dell'acqua ottenuta in contatto di un globo vuoto di ferro, o di porcellana, arroventato. Una storta contiene l'acqua fino ad un certo punto della sua capacità, ivi l'acqua bolle e fa passare il vapore in una canna di ferro ad essa lutata, che si unisce al globo vuoto di ferro, ove sono dei frammenti dello stesso metallo. Si ossida il ferro e si svolge il gas idrogene, il quale passa per altro tubo di ferro in una vasca di acqua sotto l'imbuto che è unito al globo areostatico. Ma questo processo troppo lungo viene abbandonato, e d'ordinario si dispongono parecchie botti in gruppi presso il luogo ove stà appeso il pallone (Tav. VIII fig. 7). Il fondo superiore di ciascuna ha un foro che si procura di tener chiuso, pel quale si introducono le sostanze di acqua, zinco, acido solforico nella proporzione di 16 : 3 : 5, ed ha un tubo a sifone che porta il gas sotto alla botte centrale, la quale a guisa di gazometro raccogliendolo lavato, lo somministra alle maniche del pallone. Bisogna nei barili porre sulle prime una notabile quantità d'acqua e di zinco, e somministrare non molto alla volta l'acido fino alla detta proporzione per non avere troppa effervescenza, ed in seguito possono passarvisi tutti e tre gli ingredienti. In luogo del zinco possono adoprarsi dei frantumi di ferro, e meglio se potesse aversi della limatura. Se è vero come dicesi che per un metro cubo di gas occorrono 3^k zinco, o limatura di ferro, e 5^k di acido solforico verrebbe a costare molto. Per l'esperienze di Mongolfier e Robert il prezzo del gas per metro cubo è di circa lire toscane 12, soldi 15, e denari 4.

Il primo volo aereo in Inghilterra fu eseguito dal Lunardi di Lucca con un globo a gas di 11 metri circa in diametro. L'altezza di tali ascensioni può superare ed ha superato, senza effetti nocivi sulla macchina umana, due e tremila metri, e molto più; ed è celebre il viaggio aereo dei Signori Biot, e Gaylussac fatto ad unico oggetto di avvantaggiare le scienze, nel quale essi si portarono all'altezza di 400.^{m} Il secondo poi di questi illustri fisici in un secondo volo giunse all'enorme altezza di 7015.^{m} sul livello del mare, e neppur questa è la maggiore che abbia raggiunto l'ardire dell'uomo, potendosi ritenere che l'abbiano varcata i Signori Brioschi e Andreani nel loro volo a Napoli, ma sembra con dei resultati nocivi all'organismo umano. A queste enormi altezze scema notabilissimamente non solo la pressione, la densità e la temperatura dell'aria, ma anche la gravità, e conviene corrispondentemente variare le formule per la forza ascensionaria; mentre la variazione è quasi inconcludente per altezze moderate di circa 400.^{m} tanto più che il gas del globo avendo agio di dilatarsi a misura che il globo si solleva, il rapporto tra la densità del fluido esterno ed interno si mantiene costante.

100. *Navigazione aerea*. — È stato tentato di dirigersi orizzontalmente, giunto che sia il globo senza forza ascensionaria in uno strato dell'atmosfera, e pur troppo può stabilirsi che i tentativi fatti non hanno conseguito sicuro fine, e non hanno fissato un deciso metodo. Contuttociò il Signor Green è giunto a passare da Londra fino alle sponde del Meno nel ducato di Nasseau: gli areonauti Blancard e Jeffrier si azzardarono a fare il tragitto da Douvre

a Calais, ove fortunatamente giunsero, e nel luogo della discesa fu eretto un monumento che ricordasse il prodigioso arrivo: i due fratelli Robert poterono dirigere la loro macchina ad un'angolo di 22.° col vento, che aveva la velocità di 7.m circa, facendo uso di grandi remi di taffettà che a guisa di grandi ombrelli portavano unite al centro aste orizzontali, colle quali venivano opposti all'aria. Senza dubbio questi sono lusinghieri resultati, ma molto è da determinarsi circa

I. La forma del globo, e la materia dell'involucro. I più vogliono che debba essere allungato in uno dei diametri orizzontali: forma che più si presta a scemare la resistenza, e ad impedire il moto rotatorio della macchina. Il taffettà per quanto benissimo verniciato lascia passare assai del gas, e non permette un viaggio prolungato, è stata proposta una sottil foglia di rame, ma il suo peso rimane sempre notabile. L'aereo-veliere imaginato dal Sarti avrebbe per oggetto d'inalzare un peso, senza la diminuzione di gravità, col solo fare agire la resistenza dell'aria, a guisa di quello che usano i volatili.

II. La convenienza di usare il vento per unica forza motrice. In tal caso dovrà l'areonauta portarsi in quella regione dell'atmosfera ove spira il vento nella direzione richiesta. Tutt'al più potranno usarsi apparati o meccanismi mossi dal vento stesso che producano una corrente aerea inclinata alla direzione del vento per conseguire la direzione voluta. Ne saprei dire se questi possano aversi, e di un'effetto abbastanza grande: certo è che le solite vele tisse di posizione come si usano nei battelli sarebbero inefficaci giacchè manca il punto d'appoggio che hanno i battelli nell'acqua, e le resistenze si fanno in un mezzo uniforme.

III. L'uso di forza motrice diversa da quella naturale del vento. Sarebbe costretto allora l'areonauta a cercare una regione ben calma, ed ivi con remi, ali, ruote ad elice o altri meccanismi dovrebbe stabilirsi la direzione.

IV. L'effetto dell'azione resultante dalla forza artificiale e dal vento. Sarebbero allora da evitarsi coll'inalzamento, e abbassamento della macchina le correnti aeree troppo superiori a quelle che possono vincersi con forze artificiali.

Comprendesi che il quesito è di difficile soluzione, ma non ammette impossibilità, piuttosto dubiterei della convenienza che presenta la spesa a confronto con i vantaggi che si avrebbero da una navigazione aerea non celere. Si è veduto risoluto quello della navigazione sottomarina, ed è dello stesso genere colla differenza della minore densità del mezzo, e della diversità di mole nella macchina, la qual pure dipende dalla densità del mezzo. Queste due differenze ridurranno grandissimamente la velocità, giacchè la resistenza utile che si incontra nell'acqua, è molto più grande di quella che possono i meccanismi trovare nell'aria; e ben più piccola è la superficie che un battello sottomarino oppone al mezzo, di quella che viene opposta dalla grandiosa mole dell'areostato. Le ali che ad analogia di quelle degli uccelli si avanzano con gran superficie, e retrocedono ripiegate opponendo il minimo di superficie possono esser remi convenientissimi, e le ruote ad elice (*Idr*:247.) possono anche in un mez-

zo uniforme dar tal reazione da decidere il moto della macchina. Penso che non è utile raccomandare il movimento di questi apparati a macchine a vapore per l'eccessivo peso che esse hanno, e crederei dovesse studiarsi (se una qualche speranza per la utile soluzione del quesito rimane) nelle macchine motrici elettro-magnetiche.

101. *Calcolo della resistenza dell'aria contro i paracadute, e osservazioni su questo apparato* — Tanto nella discesa de' globi areostatici, quanto in quella de' paracadute si avrà una forza acceleratrice proveniente dalla gravità, ed una ritardatrice prodotta dalla resistenza dell'aria, e la resultante delle due forze verticali, ritenendo le notazioni di sopra, è

$$\mathrm{P} - (\Pi - \Pi')\,\mathrm{Q} - k\Pi\mathrm{B}\frac{v^2}{2g}$$

E come abbiamo detto per il calcolo precedente, mutato il segno alla forza acceleratrice, si avranno gli accrescimenti dv della velocità in tempi piccolissimi dt espressi dall'equazione

$$\frac{dv}{dt} = \frac{g\left(\frac{\mathrm{P}}{\mathrm{Q}} + \Pi' - \Pi\right)}{\frac{\mathrm{P}}{\mathrm{Q}} + \Pi' + n\Pi} - \frac{gk\Pi\mathrm{B}}{\mathrm{P} + (\Pi' + n\Pi)\mathrm{Q}}\frac{v^2}{2g}$$

il moto dunque andrà accelerandosi finchè si abbia

$$\mathrm{P} + (\Pi' - \Pi)\mathrm{Q} > k\Pi\mathrm{B}\frac{v^2}{2g}$$

e diverranno gli acceleramenti sempre più piccoli perchè cresce il valore di v, e tenderà il moto a farsi uniforme, e si renderà tale quando la velocità avrà acquistato il suo massimo valore che viene dall'eguagliare le due notate quantità.

I paracadute per mezzo dei quali possono gli areonanti abbandonare i loro globi, e discendere senza pericolo dalle regioni superiori dell'atmosfera sono disposti come gli ombrelli ordinari (Tav. VIII fig. 8) solo hanno dimensioni molto maggiori, e portano all'estremità del loro asse verticale una piccola navicella, o cesto di giunchi. Interessa determinarne le dimensioni, onde la velocità non divenga troppo grande e nociva all'areonauta. Riteniamo che sia di 5^{m} al secondo, il limite della velocità che può senza pericolo raggiungere il paracadute, e che il peso della macchina carica degli oggetti, che può occorrere di unirvi, sia 150^{k} Potremo ritenere non solo $\Pi' = o$ ma anche $\Pi\mathrm{Q} = o$, e $\Pi = 1,25$, e per l'esperienza di Thibault, quando la freccia della superficie concava è tra $^1/_4$ e $^1/_8$ del diametro si ha una resistenza 1,15 volte quella di un piano sottile, e per questo può prendersi $k = 1,3$; Onde secondo la formula di sopra per avere la velocità massima porremo

$$150' = \mathrm{B}\,\frac{1,3 \times 1,15 \times 1,25 \times 25}{2 \times 9,8}$$

cioè $\mathrm{B} = 63^{\mathrm{mq}},9$, vale a dire la proiezione del paracadute sul piano perpendicolare alla direzione del movimento, deve essere di 64 metri quadrati, cioè un cerchio di raggio $4^{\mathrm{m}},5$ circa, supposto che l'altezza da cui viene il paracadute sia tale, che prima di toccar terra raggiunga il massimo della sua velocità. Questa velocità limite, è conseguentemente tanto più piccola, quanto il paracadute presenta maggiore superficie all'aria, e a proporzione della superficie più presto il moto accelerato si ridurrà uniforme. In tal modo il paracadute chiuso andrà con grandissima velocità, e aperto ne avrà tanto di meno quanto più piccol peso porta. Avvertiti tali principj può essere il paracadute strumento di sicuro resultato quando non sieno da

temersi le grandi oscillazioni che acquista mentre l'aria tende a sfuggire dal suo bordo. Per evitare le quali è stato riconosciuto utile di lasciare un solido tubo metallico lungo circa un metro nel centro, che farà escire l'aria dal sotto senza nuocere alla resistenza.

Può ritenersi che un paracadute di raggio 5^m basti per rendere dolcissima la discesa di 100^k. E si comporrà con 36 fusi di taffettà, e con altrettante corde che a guisa di raggi partendo da una rotella centrale sostengano le cuciture, e le sopravanzino per unirsi due a due in punte. A queste si annodano 18 funicelle che per impedire il rovesciamento dell'ombrello vengono raccomandate alla navicella, la quale è pure legata a 4 corde di 10^m circa che partono dalla rotella centrale della macchina. Per la prima volta nel 1802 la Garneria diede in Parigi lo spettacolo di inalzarsi a 100 tese col globo, e poi staccando da quello il paracadute di lasciarsi cadere e giungere a terra salva, ma agitata da enormi oscillazioni. Il paracadute che la medesima usò di poi in Milano aveva $8^m,5$ di diametro. Ora come i voli nei globi, così anche le discese coi paracadute sono spettacoli assai comuni. Si abbassa il pallone che tien sotto il paracadute onde questo si apra, e dopo si scioglie e si lascia cadere. Che se un volatore non resterà nella navicella del pallone, all'oggetto di ricuperare il pallone stesso, dopo avere staccato il paracadute, basta avere attaccato con una lunga cordicella un peso ad una maglia che resti alla sua sommità. Questo lo fa rovesciare scaricato che sia, per cui dal foro che suole essere in basso, e che allora va in alto, escendo il gas più leggero dell'aria, torna sgonfiato il pallone in terra poco dopo che vi è giunto l'areonauta, e il paracadute.

102. ***Dedurre dal tempo della caduta verticale l'altezza da cui è venuto un corpo.*** Per quanto nelle questioni che meriterebbero molto sviluppo di calcolo, intenda che si abbia ad aver ricorso ai trattati di applicazioni di calcolo alla meccanica e all'idraulica, e a quelli di fisica matematica, pure mi avvicinerò a quelle teorie in questi due paragrafi, onde il mio lettore conosca, che anche le precedenti questioni potrebbero esser trattate con maggiore estensione ed esattezza, col sussidio del calcolo.

Col mezzo di un buono orologio si potrà avere in secondi, ed in frazioni di secondo, il tempo che un corpo ha impiegato per cadere verticalmente nell'aria, e si potrà da questo dedurre l'altezza da cui è caduto; lo che può servire a misurare l'altezza di un edifizio o la profondità di un pozzo. Sarà bene scegliere un corpo di forma sferica, di conosciuta dimensione, e molto peso, e di diametro non tanto piccolo per diminuire ad un tempo l'influenza della resistenza dell'aria, e l'incertezza relativamente alla sua valutazione. Nel caso però che non possa misurarsi il tempo ad un decimo di secondo è da preferire una palla assai leggera, come di legno, per aumentare la durata della caduta.

L'equazione generale del precedente paragrafo per essere $\Pi' = o$ si riduce

$$\frac{dv}{dt} = \frac{g\,(P - \Pi Q)}{P + n\,\Pi Q} - \frac{k\Pi B v^2}{2(P + nQ\Pi)}$$

cioè

$$g\,dt = \frac{h' - dv}{h^2 - v^2}$$

ove $h^2 = \frac{2g\,(P - \Pi Q)}{k\Pi B}$, $h' = \frac{P - \Pi Q}{P + n\Pi Q}$

e poichè nel caso nostro si può ri-

guardare $\Pi Q = o$ avremo $h' = 1$. Quindi

$$gt = \frac{h}{2}\int\left(\frac{dv}{h+v}+\frac{dv}{h-v}\right)+Cost. = \frac{h}{2}\log\frac{h+v}{h-v}$$

essendo determinata la costante col porre $t=o$ con $v=o$. Questi logaritmi come i seguenti, sono iperbolici o Neperiani, e perciò si ottengono col moltiplicare quelli delle tavole ordinarie per 2,302585, e la loro base si rappresenta con e = 2,718282. Passando dunque dai logaritmi ai numeri abbiamo

$$e^{\frac{2gt}{h}} = \frac{h+v}{h-v} \text{ ci } v = -h\,\frac{1-e^{\frac{2gt}{h}}}{1+e^{\frac{2gt}{h}}}$$

e moltiplicata e divisa la frazione per $e^{\frac{-gt}{h}}$ si ha $v = h\,\dfrac{e^{\frac{gt}{h}} - e^{\frac{-gt}{h}}}{e^{\frac{gt}{h}} + e^{\frac{-gt}{h}}}$

Ora per esprimere lo spazio s ci serviremo della relazione $ds = vdt$, e dedurremo

$$ds = h\,\frac{e^{\frac{gt}{h}} - e^{\frac{-gt}{h}}}{e^{\frac{gt}{h}} + e^{\frac{-gt}{h}}}\,dt$$

ed integrata

$$s = \frac{h^2}{g}\log \tfrac{1}{2}\left(e^{\frac{gt}{h}} - e^{\frac{-gt}{h}}\right)$$

avendo determinata la costante per $s=o$, quando è $t=o$. Finalmente svolto in serie convergente il logaritmo, si ha

$$s = \tfrac{1}{2}gt^2 - \frac{g^3 t^4}{12h^2} + $$

espressione dalla quale scorgesi separata l'influenza della resistenza del mezzo.

Siasi lasciata cadere da una certa altezza una palla di legno del diametro $0^m,04$, e il cui peso sia $P = 0^k,0288$. L'osservazione del tempo abbia dato $t = 3^s,6$, siccome $\Pi = 1^k 23$, $k = 0,52$, perciò

$$h^2 = \frac{19,6(0,0288 - 0,0000412)}{0,52 . 1,23 . 0,00126} = 655,59$$

ed avremo

$$s = \tfrac{1}{2} . 9,8 . 12,96 - \frac{941,19 . 167,96}{12 . 655,59}$$
$$= 63,5 - 22,9 = 40^m,6$$

Fatto il calcolo sulla formula esponenziale si sarebbe ottenuto $s = 41,^m5$. Onde vedesi che due soli termini della serie, danno un valore non molto approssimato. Inoltre dobbiamo considerare che un' inesattezza si è fatta nel porre $h' = 1$, e nel ritenere come costante la resistenza dell' aria. La prima ipotesi corretta richiede di dividere la gravità g per h', ed essendo $\frac{g}{h'} = \frac{9,804}{0,997} = 9,83$ darà $s = 63,7 - 20,3 = 43^m,4$. E la seconda potrà correggersi col ritenere all'aria una densità media, tra quella che esiste al principio $1^k,23$ e quella che si ha alla fine dell'altezza s, e poichè nell' idraulica (*Idr.* 43) parlando dell' altimetria barometrica abbiam dimostrata la formula, che assegna le altezze per le pressioni barometriche, sostituendo a queste le densità avremo

$s = 18391$ (*log*. 1,23 — *log*. x) = 43,4 (questi sono logaritmi ordinari) cioè $x = 1,22$. Onde la densità media sarebbe $1^k,225$ cioè

$$\frac{g}{h'} = \frac{9,804}{0,998} = 9,826$$

ed $s = 63,67 - 20,25 = 43^m,42$ correzione insensibile, e che io ho mostrata solo per fare apprezzare l'effetto di tutte, e per far conoscere l' uso della formula dell' altimetria barometrica nel determinare la densità dell' aria alle differenti altezze dell' atmosfera.

105. ***Volante regolatore ad alette.*** Tali volanti si usano per rendere presso a poco uniforme dopo breve tempo un movimento, e vedonsi applicati nelle sonerie degli orologi, alle armoniche, ai girarrosti ec. Si compongono di un albero girante, al quale si adattano più bracci terminati in lastre metalliche sottili con piani che passano per l'asse, o che si inclinano con cert'angolo al medesimo. Quanto più estese sono le lastre, e in maggior numero, e quanto più piccolo è l'angolo d'inclinazione che esse fanno coll'albero quando esistesse, tanto maggiore è la resistenza che incontrano nell'aria, e perciò tanto più presto avvicinano il moto all'uniformità, e minore ne fanno la velocità. Ad ottenere un grand'effetto dalla resistenza dell'aria sul moto di una macchina vi si unisce il volante ad alette col mezzo di una vite perpetua. Io prendo in considerazione la più semplice costruzione della macchina, che è quella usata dal Borda (Tav. VIII fig. 4) per mostrare come vi si possa applicare il calcolo, e per far vedere come il suo moto si accelera, ma sempre di meno in meno e presto si approssima all'uniformità, sebbene non vi giunga con esattezza che in un tempo infinito. Da questo calcolo si comprenderà pure non solo il modo di valutare la celerità limite, ma ancora come la faccia molto decrescere il raggio medio delle alette. P è il peso motore attaccato ad una cordicella che suppongo per semplicità non rigida nè pesante. Sia B la superficie riunita delle due ali che col mezzo di sottili bracci si uniscono al tamburo. Rappresentino Π il peso specifico dell'aria, R la distanza del centro delle pale dall'asse, R′ il raggio del tamburo, r la distanza di un punto qualunque della macchina dall'asse. Sia ρ il raggio del pernio, ω la velocità angolare, e P′ il peso di tutto il sistema non compreso P. Saranno ωR, $\omega R'$, ωr le velocità respettivamente delle alette, del peso, e di un punto qualunque delle alette. La forza acceleratrice (*Mecc.* 180) eguagliando i momenti di rotazione divisi per il momento d'inerzia si ha

$$\frac{d\omega}{dt}=\frac{PR'-\frac{k\Pi B\omega^2R^3}{2g}-f\left(P+P'-\frac{PR}{g}\frac{d\omega}{dt}\right)\rho}{\frac{P}{g}R'^2+\int r^2dm}$$

ove il numeratore del secondo membro è eguale al momento del peso, meno il momento della resistenza dell'aria, e meno il momento dell'attrito, l'ultimo termine del quale rappresenta la diminuzione di pressione nella discesa del peso; ed il denominatore è eguale al momento d'inerzia del peso unito a quello della macchina. Nell'equazione ad oggetto di semplicizzare ponendo

$$M^2=\frac{P}{g}R'^2+\int r^2dm+f\frac{PR'}{g}\rho$$

$$N^2=\frac{k\Pi BR^3}{2g}$$

$$Q^2=PR'-f(P+P')\rho$$

si ottiene l'equazione

$$M^2d\omega+(N^2\omega^2-Q^2)\,dt=o$$

nella quale separate le variabili, ed integrando col porre $\omega=o$ quando è $t=o$, si avrà

$$t=M^2\int_o^\omega\frac{d\omega}{Q^2-N^2\omega^2}$$

$$=\frac{M^2}{2Q}\int_o^\omega\frac{d\omega}{Q+N\omega}+\frac{M^2}{2Q}\int_o^\omega\frac{d\omega}{Q-N\omega}$$

$$=\frac{M^2}{2QN}\log\frac{Q+N\omega}{Q-N\omega}$$

Da questa equazione deduciamo che cresce la velocità al crescere del tempo, e che ben presto gli accrescimenti delle velocità si fanno picco-

li, sebbene non divenga essa costante che ad un tempo infinito. Allora acquista la velocità il suo massimo, e questo è

$$\omega = \frac{Q}{N} = \sqrt{2g\frac{PR' - f(P+P')\rho}{k\Pi BR^5}}$$

valore che si sarebbe anche ottenuto dall' equazione differenziale col supporre $d\omega = o$, che è la condizione del moto uniforme.

CAPITOLO VI.

Del vento considerato come motore, e dei mulini a vento. Di altri gas motori.

104. *Irregolare azione del vento.* — Senza dubbio il vento sarebbe il motore più pregiabile dato dalla natura, se come è il più generale per trovarsi in tutte le località così presentasse regolare azione. Ma l'estrema irregolarità di esso, non tanto per l'intensità, quant'anche per la direzione, obbliga a non farne uso se non in quei lavori nei quali possono lasciarsi grandi interruzioni di tempo, e si può agire con differentissime velocità. Quante delle forze che esistono in natura restano per la meccanica industriale perdute a cagione di questa loro irregolarità! E come sarebbe grandiosa scoperta il trovar modo di raccogliere e conservare queste forze in quei pochi periodi in cui sono eccedenti per repartirle con regolarità, ed usarle in tutto l'anno! Conservatori, e regolatori della forza in tal modo efficaci, mancano alla scienza, pure essa ne possiede di quelli più limitati, e come in meccanica si è veduto il volante, il regolatore a forza centrifuga, quello a molla, ec.; nella pneumatologia avremo occasione di esaminarne altri, che rendono più regolare l'azione del vento, ma sono ben lungi dal sodisfare al bisogno. Forse in molti casi anzichè richiedere dal ricevitore della forza del vento la regolarità occorrente alla tecnica applicazione tornerà vantaggioso fare eseguire alla macchina mossa dal vento un lavoro sussidiario, come sarebbe il sollevamento dell'acqua, e servirsi poi dell'acqua sollevata per la forza motrice regolare, che ha da produrre il richiesto lavoro.

105. *Forza motrice del vento, e modo di raccoglierla.* — In un luogo ove esistono disponibili dei corsi d'acqua, niuno penserà di aver ricorso alla forza motrice del vento. Questo, anche quando si consideri il suo principal pregio di agire per una grandissima estensione, è un motore che la perde di gran lunga al confronto dell'acqua, la quale sì bene si regola nell'azione. Possono moltiplicarsi i meccanismi che raccolgono la forza del vento, e porsi vicini o lontani fra loro, essendo ben difficile che l'uno abbia influenza sull'altro. Con maggior vantaggio si impiega questo motore nelle pianure ove si manca di caduta d'acqua, nei punti rilevati di un colle ove il vento è più forte e frequente, e verso l'entrata o l'egresso di una gola di monti ove hanno i venti determinata direzione. La tenue densità dell'aria a confronto di quella dell'acqua, impedisce che i ricevitori idraulici possano usarsi come ricevitori della forza del vento. Conviene supplire alla leggerezza con una super-

ficie maggiore, e si usano per conseguenza soltanto le vele, o congegni molto ad esse analoghi. Or su quelle non si può agire che coll'urto, il quale adempiendosi dall'aria in un mezzo pure ripieno d'aria, si utilizza ben piccola parte del lavoro motore, per la stessa ragione che ciò accade nelle ruote idrauliche a pale poste al mezzo della corrente di un fiume. E sono da distinguersi le vele dei navigli da quelle dei mulini a vento, giacchè nell'un caso la superficie delle vele si muove progressivamente, e nell'altro con moto rotatorio. Pure sempre la dottrina della resistenza, o urto dell'aria, ci assegna il modo di valutare la forza motrice del vento, e quanto più l'urto si fa normale alla superficie della vela, o questa è di maggiore estensione tanto maggior parte di lavoro può raccogliere. Per le intermittenze, e le irregolarità che presenta il vento, nello stato attuale della scienza si valuta che la forza raccolta in un anno da tal motore, sia quella che produrrebbe un vento costante con velocità di sette o otto metri al secondo, il quale agisse soltanto per un terzo dell'anno. E poco può credersi che la scienza abbia da avvantaggiare questa forza, mentre si è veduto che le più ordinarie disposizioni di vele, di poco la cedono ai raffinati meccanismi che vi si sono sostituiti.

106 *Vele nei navigli.* — I venti, che ora si indeboliscono, ora infuriano, han bisogno che nei navigli gli apparati ricevitori della loro forza permettano tutte le riduzioni, possibili, e con facilità e prontezza. Quindi è sotto il punto di vista di conoscere queste riduzioni, che nella tecnologia generale possono interessare le idee fondamentali dell'alberamento e veleggiatura dei navigli. Ogni naviglio è munito di un grand'apparato d'alberi e di corde, destinati a portare e tenere le vele sulle quali il vento deve esercitare la sua pressione. Queste vele son grandi superfici di tela che possono aprirsi, ripiegarsi, e volgersi in diverse direzioni a seconda del bisogno. Dicesi orientar le vele quando si volge in determinata direzione la lor curvatura, o il centro velare che è quel punto per dove passa la resultante della forza del vento sulle vele. Quando il naviglio dovesse progredire nella direzione del vento, è chiaro che la vela sarà a questo normale, e quando la direzione del naviglio debba, come il più spesso accade, fare un'angolo con quella del vento, e starà la vela a questo obliqua. Sempre la pressione del vento facendosi normale ad essa, il naviglio sarebbe per effetto del solo vento spinto nella direzione della normale alla vela, e per l'azione della resistenza dell'acqua cagionata dalla forma del naviglio, e dalla direzione che si dà al timone, ne resulta nel naviglio un movimento ancora più obliquo al vento, di quello che sarebbe la detta normale. E come debba regolarsi la obliquità della vela è stato da noi detto (*Mecc.* 108), per cui siamo in grado di conoscere che si potrà progredire con qualsivoglia obliquità col vento, ed anche se richiedasi in direzione opposta. Per quest'ultimo caso si pone l'angolo delle vele col vento il più piccolo possibile, e col mezzo del timone si riduce la direzione del naviglio obliqua per 65° alla direzione da dove viene il vento, ed anche in circostanze favorevoli per 60°. E si progredisce il più prossimo al vento ora da una parte di esso, ora dall'altra in modo da descrivere un zig-

zag, e nel complesso ci si avanza in direzione opposta al vento, lo che dicesi bordeggiare.

Secondo il differente modo che vuole usarsi nel fissar le vele si fanno queste triangolari, rettangolari, e trapezie. Quelle triangolari dette anche latine si fissano all'antenna traversa, e si gira secondo il vento l'alto dell'antenna. Per le altre esistono dei bracci in direzione orizzontale uniti agli alberi, detti pennoni, ed a questi si inferiscono. Possono avere le vele uno dei lati verticali fissato lungo l'albero e si chiamano vele auriche, a corna, a ghisso, a tarchia, tutte prendono vento da una sola parte, e permettono girarsi da quel lato ove conviene. Possono essere inferite ad una fune tesa da un'albero all'altro, e vengono dette vele di straglio, per la maggior parte triangolari, e trapezie con infilatura alla base minore in altra fune parallela allo straglio. Si dà propriamente il nome di vele alle più basse, e di gabbia a quelle del second'ordine sull'albero. Come di pappafico a quella più piccola del terzo ordine, e contrapappafico del quarto. E si dice brunetta quella porzione di vela che stà al lato della principale, e serve ad allargarla. Si scema l'azione del vento sulla vela con ripiegarne una porzione, e ciò vien fatto nelle grandi vele quadrate col mezzo di lacci chiamati terzaruoli.

106. *Distinzione tra i diversi generi di mulini a vento. Dei mulini ad asse verticale.* — Sotto questa denominazione si comprendono tutte le ruote a grandi ale, o vele sulle quali agisce il vento, e possono classarsi in mulini ad asse verticale, e ad asse presso a poco orizzontale. Questi ultimi sono ordinariamente in uso per grandi lavorazioni come per la macinazione dei grani, e noi ne parleremo assai in appresso. Non che non possano usarsi anche per piccoli apparati, ed allora, come si è veduto nel mulinello di Combes, (*44*) si costruiscono le pale metalliche. I mulini ad asse verticale si usano di rado perchè mal raccolgono la forza. Rimane esposta all'azione del vento o una sola parte della ruota, o se è tutta sovra una parte di essa il vento produce una reazione nociva. Per cui si valuta l'effetto di uno di questi mulini circa l'ottavo di quello che posson dare gli altri ad asse orizzontale. La fig. 5. Tav. III. mostra applicata nell'anemometrografo (*47*) una di queste ruote in V con pale guarnite da bordi a guisa di scatole tutte volte per un sol verso. Nei mulini in grande si formano le pale con superfici coniche, delle quali alcune presentando la concavità, ed altre la convessità al vento, prendono movimento per l'azione differente di esso sull'une, e sulle altre: O anche si fanno le ali rettangolari, e con vele che hanno il ler piano nella direzione dell'asse, ed allora girano in un inviluppo cilindrico che è mancante di una parte per permettere al vento l'accesso sulle pale nella direzione la più conveniente.

Mulini a vento.

107. *Descrizione del mulino a vento.* — Non occorrerà fare una descrizione completa di tutte le parti che sogliono essere il più frequentemente di legno, giacchè può facilmente comprendersi la composizione della fabbrica dalla figura (Tav. IX. fig. 1) e in alcune parti và molto variando secondo le località, e secondo l'uso dei paesi. Sempre però

se; sia b la superficie di un' elemento qualunque rettangolare delle ali, compreso tra due generatrici della superfice, che si può considerare come piano; sia v la velocità circolare del centro del detto elemento, e ψ l'angolo formato dalla direzione del vento con il piano dell'elemento dell'ala. Sia Π la densità dell'aria, o il peso per l'unità di volume, k il coefficiente dell'urto, e P lo sforzo esercitato sull' elemento nella direzione della sua velocità, $V.\,sen\,\psi - v.\,cos\,\psi$ sarà la velocità relativa del vento, e dell'elemento dell' ala, valutata nella direzione a questo normale, e l'urto ritenuto che sia diretto (88), e che accada con questa velocità, verrà espresso da

$$\frac{k\Pi b}{2g}(V\,sen\,\psi - v.\,cos\,\psi)^2$$

Amando ora applicare a questa dottrina i resultati sperimentali, e particolarmente quelli dell' urto obliquo (99), dovrò usare alla superficie urtata l'esponente $1\,{}^1\!/_{10}$, e dividere la detta velocità per $sen\,\psi$, o il valore dell' urto per il quadrato di questo seno, e poi moltiplicarlo per la formula empirica che rappresenta i resultati sperimentali dell' Hutton, lo che darà

$$\frac{2k\Pi b^{1,1}(V\,sen\,\psi - v.\,cos\,\psi)^2}{2g\,(1+sen^2\psi)}$$

Del qual valore presa la componente nella direzione del movimento delle ali, e moltiplicata per la velocità v sarà la quantità di lavoro, o d'effetto utile nell' unità di tempo sopra il considerato elemento

$$Pv = \frac{k\Pi b^{1,1}(V\,sen\,\psi - v\,cos\,\psi)^2\,v\,cos\,\psi}{g\,(1+sen^2\psi)}$$

Per ottenerne il valor massimo ritenemo variare la v (che è $=\omega r$, cioè eguale alla velocità angolare moltiplicata per la distanza dal centro) e con i consueti metodi ritroveremo $v = \omega r = {}^1\!/_3\,V\,tang\,\psi$. E poichè la velocità angolare deve esser costante per i diversi elementi della vela, conviene che sia $tang\,\psi$ proporzionale ad r, o meno inclinati al piano del movimento gli elementi che sono più distanti dal centro, come abbiamo sopra per altra via dimostrato. Inoltre il lavoro massimo elementare diviene

$$Pv = {}^4\!/_{27}\,\frac{k\Pi b^{1,1}V^3\,sen^3\psi}{g\,(1+sen^2\psi)^2}$$

vale a dire proporzionale al cubo della velocità del vento. Proponiamoci di fare il calcolo della velocità più vantaggiosa a darsi alle ali, e del lavoro utile massimo che se ne può ottenere. Circa alla velocità: fatto nella formula per l'estremità dell'ala $\psi = 83$ abbiamo $v = {}^1\!/_3\,V\,tang\,83^\circ = 2{,}7\,V$ cioè l'ala deve concepire una velocità alla sua estremità circa due volte e sette decimi quella del vento. Per il lavoro: porremo $k = 2{,}05$, $\Pi = 1{,}^k23$, riterremo che la vela dell'ala sia larga 2^m e lunga $10{,}^m$ ed avendosi le inclinazioni, come nei mulini all' olandese, sia $b = 3{,}^m333$, cioè un sesto della vela. Per le sei parti nelle quali variano le inclinazioni avremo

$$0{,}127\,\frac{sen^3\,72^\circ}{1+sen^2\,72^\circ}\,V^3 = 0{,}057\,V^3$$

$$0{,}127\,\frac{sen^3\,71^\circ}{1+sen^2\,71^\circ}\,V^3 = 0{,}056\,V^3$$

$$0{,}127\,\frac{sen^3\,72^\circ}{1+sen^2\,72^\circ}\,V^3 = 0{,}057\,V^3$$

$$0{,}127\,\frac{sen^3\,74^\circ}{1+sen^2\,74^\circ}\,V^3 = 0{,}059\,V^3$$

$$0{,}127\,\frac{sen^3\,77^\circ{,}5}{1+sen^2\,77^\circ{,}5}\,V^3 = 0{,}061\,V^3$$

$$0{,}127\,\frac{sen^3\,83^\circ}{1+sen^2\,83^\circ}\,V^3 = 0{,}063\,V^3$$

La somma di questi lavori elementari dà il lavoro di un' ala, che moltiplicato per 4, essendo 4 le ale, porta $1{,}412\,V^3$. Nel calcolo ho computata la superficie urtata e non la sua po-

tenza 1,1 (89 IV°) lo che porta 124^{mq} in luogo di 80^{mq}, e perciò aumentato il ritrovato lavoro in questo rapporto si riduce 2,2 V^3.

Combinano assai questi resultati con le regole stabilite da alcuni autori, dietro i resultati sperimentali dello Smeaton e del Coulomb: che la velocità da darsi all'ala nella sua estremità è 2,7 quella del vento, e che il lavoro del mulino, chiamata B la superficie di un'ala è espresso in kilogrammetri da $Pv=0,13$ B V^3. E comprenderemo per i calcoli precedenti, che quest'ultima regola dà un *maximum*, al quale non può che avvicinarsi facendo astrazione dalle resistenze nocive che presenta la macchina.

109. *Particolarità nella costruzione dei mulini*. — Si dà più o meno presa al vento coll'allontanare i bordi della tela dall'asse dell'ala, o avvicinarli ad esso, ed anche ripiegando tutta la vela si sospende l'azione del vento. Prima di permettere alla macchina il moto, si volge l'albero motore nella direzione del vento, e si ferma il sistema con un freno che cinge la ruota dell'albero, quindi si allontanano dall'asse le vele, vestendo la superfice delle ali. E ad eseguire queste operazioni, convien volgere al basso ciascun'ala, montare l'operatore sulle traverse come sopra una scala: per cui rimangono di qualche pericolo, e assai difficili per non poterle ridurre a quella frequenza che regolerebbe l'azione del vento.

All'oggetto di conseguire questo fine, si è tentato di affidare tutte le operazioni al vento istesso, cioè la orientatura del mulino, e l'aumento o diminuzione della superficie delle vele, adottando la seguente costruzione. La torre N è fissa, e la sola cupola M (Tav. IX fig. 2) è girevole con agilità per mezzo di rotelle sopra una piattaforma BB, e questo movimento vien prodotto dal vento quando agisca sulla ventaruola A, cioè quando non sia parallelo al piano di essa. Infatti sono inclinate le palmette di questa ventaruola, e girando essa all'azione del vento, comunica il moto mediante una ruota d'ingranaggio C ad un rocchetto dentato D che passeggia sulla gran dentatura della piattaforma, ed orienta con precisione il mulino. Imperocchè soffiando il vento nella direzione della ventaruola cessa il moto d'orientazione, e si trova l'albero E nella direzione del vento, e le vele F F son mosse. Ora è da osservarsi come queste girando con troppa rapidità, per effetto della forza centrifuga vengano a spogliarsi, e viceversa a vestirsi. In F'F' si vedono di faccia in parte le ali, e i quattro travi G, G, G, G a croce, ai quali sono raccomandate. Ad essi avvi un telaio fisso esterno I I, I I, e dentro a questo può muoversi un'altro telaio L L, L L al quale sono fissate le vele. Realmente questo moto si fa allontanandosi esso dal centro per effetto della forza centrifuga, ed allora le leve P, P girando attorno ai centri *p p* fanno entrare una verga Q Q lungo l'asse dell'albero, la quale mediante una cremagliera ed un'ingranaggio fa sollevare il contrappeso R. La vela è composta da più pezzi distinti di tela attaccati con un'estremo alle traverse del telaio fisso I I, e coll'altro ad alcuni cilindri S, S... che attraversano il telaio mobile L L. Questi cilindri girando per un'ingranamento in una cremagliera, o per altro modo, mentre si allontana dal centro il telaio mobile raccolgono i pezzi di tela, e spogliano l'ala. Egualmente permettono che essa si rivesta quando cessata l'azione eccеden-

te del vento, e la forza centrifuga ritorna verso il centro il telajo mobile per effetto del contrappeso R, che spinge in alto la verga Q Q, e fa agire le leve P P in contrario.

Adesso sono in credito i mulini che possono spogliarsi dall' interno della fabbrica con agilità. Una verga passa lungo l'asse dell'albero, e termina nell' interno con una manovella per la quale può essere girata. All' esterno porta un rocchetto dentato, il quale fa avanzare o retrocedere contemporaneamente quattro cremagliere N N N N (Tav. IX fig. 3). Le quattro ali sono rette dai quattro travi centrali, sovra i quali riposano imperniate le traverse E E..., A queste sono unite delle tavole che soprapponendosi fanno le funzioni di vele aperte, finchè le traverse E E.. stanno ad angolo retto con i travi. Ma quando le cremagliere tirate verso il centro, con la gruccia che hanno alla estremità, smuovono la prima traversa E, tutte l'altre traverse girano sul loro asse, e portano le tavole a soprametterersi di più in più, chiudendo quanto occorre la vela. Il congegno è tale che possono anche soprapporsi completamente quando vuolsi sospendere l'azione del vento. Il maggior difetto di questo meccanismo consiste nel dover tener la vela per tutta la lunghezza, egualmente inclinata al piano del moto.

110. *Resultati d'esperienze.* — I. Si è ritrovato che il moto di un mulino a vento che utilizza il più gran lavoro, deve produrre in un minuto nelle ali un numero di giri, doppio del numero dei metri percorsi dal vento in un secondo, e questo combina con la regola di Smeaton sopraramnmentata (108).

II. Le ali essendo disposte all'olandese, e la loro velocità stando nel rapporto assegnato con quella del vento, la quantità del lavoro trasmesso cresce quasi come la loro superficie, e un poco più rapidamente del cubo della velocità del vento.

III. I carichi o pesi che possono farsi trasportare dalle ali a qualunque distanza fissa dal centro, sono proporzionali ai quadrati della velocità del vento o poco meno. Questo pure corrisponde alle regole sopra stabilite, perchè dalla formula dell'effetto dinamico (109) si ha

$$P = 0,13 \frac{BV^3}{v}$$

ed è v proporzionale a V.

IV. La macina facendo cinque rivoluzioni per una sola dell'albero, il mulino comincia a girare quando il vento ha 4.^{m} di velocità. La velocità del vento più conveniente per il lavoro è da 6.^{m} a 7.^{m}, e allorchè questa supera 9.^{m} conviene spogliare in parte il mulino.

V. La macinazione col vento ha il vantaggio di riscaldar meno la farina, e di darla meno umida che con i mulini idraulici, ma provenendo da forza irregolare la fa or troppo grossolana, or troppo fine. E quando i mugnai fanno agire i mulini con più di 9.^{m} di velocità di vento, le ali compiono 22 giri per minuto, e riscaldano molto la farina, e son costretti ad intermettere il lavoro per raffreddar la macina.

VI. Secondo Coulomb allorchè la velocità del vento è di circa 5,^{m}9 le ali del mulino fanno da 11 a 12 giri, e possono macinare da 305^k a 441^k di grano per ora. Questo corrisponde a 2063360^{km} per ora, resultato che è quasi il doppio di quello trovato da Hachette, e porterebbe a concludere come fa il Flachat, che i mulini fiamminghi studiati dal Coulomb siano molto migliori di quelli del Cor.

telì sovra i quali sperimentava Hachette. Da questo resultato ottenuto dal Coulomb, ne verrebbe la formula dell' effetto dinamico (109) sur-riferita, la quale, discussa di sopra, ci è sembrato non potersi avere che come un limite del massimo effetto, senza valutare le resistenze nocive. E perciò noi siam disposti ad attenerci a preferenza alle conclusioni di Hachette, e non poter ritener nella pratica per effetto dinamico utile, e nelle migliori condizioni che $Pv=0,10 BV^5$. Questa formula sostiene anche il confronto con quella adottata per le ruote mosse in mezzo ad una corrente di acqua (*Idr.* 228).

VII. È stato osservato da Smeaton che girando le ali senza resistenza utile, la velocità che prendono le loro estremità, è in un rapporto costante con quella del vento, come lo è pure quando si pone tal resistenza che corrisponda al massimo effetto. Nel primo caso questo rapporto è 4 per le ali olandesi allargate: cioè per ottenere la velocità del vento, convien divider per quattro la velocità delle estremità delle ali. Nell'altro caso si ha la stessa velocità con moltiplicare per 0,52 il numero dei giri che fanno le ali. Onde deducesi che il mulino, quando lavora al massimo, procede poco meno della metà veloce, di quando và a vuoto.

VIII. Il Coulomb esprimendo il lavoro giornaliero medio dei mulini, e deducendone la media quando lavorano tutto l'anno per 8 ore al giorno, trovò che per ogni ora danno un lavoro di 2079306^{km}. Il quale corrisponde a quello di 95 uomini che agiscono alla manovella. E poichè l'attrito assorbe un sesto di quest'effetto, un mulino della Fiandra corrisponderebbe in produzione a 79 uomini.

IX. Non si può dare alle ali la figura di settori che completino la ruota ancorchè si ponessero inclinati, giacchè mancherebbe al vento la conveniente facilità per escire, e ne verrebbe un effetto minore. Si posson però variare le dimensioni, e, trattandosi di figure simili, possiam dire che il numero dei giri in un tempo dato, è proporzionale alla lunghezza delle ali. Quindi avendosi $v=mL$, ove m è una quantità costante ed L la lunghezza delle ali, dalla solita formula $Pv=0,15 B V^5$ si rileva che il carico *maximum* stà come il quadrato di questa lunghezza, e che gli effetti o lavori stanno come i cubi

Della polvere da fucile considerata come motore, e delle polveri fulminanti.

141. *Combustione dei grani, di polvere.* — I grani della polvere sono molto vari, ed alcuni piccolissimi, altri maggiori come quelli della polvere da cannone che hanno il diametro di circa 2,^{mm} 5. Nè della combustione pel brevissimo tempo che dura, valutabile meno di un decimo di secondo, può apprezzarsi la legge. Si effettua in modo progressivo e regolare per strati sferici, come vedesi nei pezzi assai grandi. Diminuisce la celerità di combustione a misura che la densità della polvere aumenta. Nella superficie di un centimetro quadrato brucia in 1'' da 1,3 a 2,6 grammi, secondo la diversa fabbricazione. E non influisce su questa celerità lo stato variabile della temperatura, e della tensione del mezzo. La combustione segue dunque sollecitamente, ma non istantaneamente: vi è bisogno del contatto di un corpo alla temperatura circa 300.° C. La fiamma dell'idrogeno

e dell'alcool, non servono sempre a produrne la deflagrazione, e può bastare il calorico che si sviluppa in un'urto secco: e la detta temperatura deve essere assai subita, altrimenti potrà a temperatura più bassa ottenersi la decomposizione della polvere.

La celerità colla quale tende a propagarsi il fuoco, da un punto ad un altro della carica di polvere, non sorpassa un metro a secondo per i grani isolati: è di 1,^{m}5 a 3,^{m} per la polvere da cannone messa in strato all'aria libera: aumenta quando la polvere è in tubi, particolarmente se il tubo lascia spazio al passaggio libero della fiamma, e nelle armi da fuoco la celerità colla quale la fiamma penetra tra i grani è da 5,^{m}7 a 7,^{m} al secondo per la polvere da moschetto, e da 8^{m} a 10^{m} per quella da cannone.

112. *Densità dei gas che si sviluppano nella combustione della polvere*. — I prodotti della decomposizione possono variare secondo le circostanze della combustione. Sono allo stato gasoso l'azoto, l'acido carbonico, qualche volta l'ossido di carbone, e un poco d'idrogene solforato e carbonato, e i gas nitrosi e il vapor d'acqua. E sono allo stato solido il solfuro di potassio, e i sotto-carbonati di potassa, sebbene questi ultimi nella detonazione vengono in gran parte volatizzati. La buona polvere bruciata sopra una carta bianca sparisce senza togliere la nettezza alla carta, mentre quando è umida e si infiamma lentamente lascia le armi sudice.

La quantità dei gas permanenti che può produrre la combustione di 100 grammi di polvere, è compresa tra 53 e 35 litri alla temperatura 0.° e sotto la pressione 0,^{m}76, supposto che i componenti sieno 75 ovvero 78 salnitro, 12 ovvero 15 carbone, 9 ovvero 12, 5 zolfo, come sogliono essere nelle polveri da guerra e da caccia. Il peso dei gas si trova $^{5}/_{8}$ circa di quello della polvere, e l'elemento che più influisce nell'alterare i gas è la variazione nella quantità del carbone.

Nel momento che l'esplosione ha luogo, i gas essendo elevati a grandissima temperatura, ed essendo uniti ai vapori, tengono un volume molto maggiore, e si sono ottenuti volumi da 450 fino a 1549 volte quello della polvere. Robins che ha stimata poco la temperatura che si sviluppa nella violenta reazione dei componenti l'uno sull'altro, la pone tra 800,° e 900.° C., e Piobert la porta a 2400.° I gas permanenti avrebbero a questo limite un volume dieci volte più grande che a 0.° E questo mostri l'incertezza che si ha sul volume che prende il gas.

Dopo tuttociò si stabilirà che la densità media dei fluidi gasosi, che indicheremo con d, quando rimangono chiusi in una capacità invariabile è il quoziente della divisione del peso della polvere di già bruciata all'istante che si considera per il volume della capacità intera, diminuita di quella che è già occupata dalla materia non bruciata. Il Rumford che ha fatte su questi soggetti le più belle esperienze, adoprando una provetta di un volume rappresentato per 1000, e che conteneva un peso di polvere che stava a quello dell'acqua che vi poteva entrare :: 1077 : 1000 indica con 1,077 la densità media che il gas avrebbe preso quando la carica avesse piena la provetta. Ora chiamato c il volume di carica, ottienesi per densità media dei gas

$$d = \frac{1,077}{1000} c \quad \text{ovvero} \quad c = 928,5.\, d$$

E ciò nel supposto che sia seguita completamente la combustione, e non sia escita alcuna sostanza dalla capacità che riteniamo per invariabile. Al variare di questa capacità, allo sfuggire di alcune sostanze, e al farsi più o meno completa la combustione, varierà corrispondentemente la densità.

113. *Relazione tra la forza elastica e la densità dei gas della polvere.* — La provetta che il Rumford adoprò per questa ricerca, consisteva in un cannoncino di ferro lavorato di grosse e salde pareti, la cui sezione (Tav. IX fig. 4) è rappresentata in B con le dimensioni: diametro dell'anima alla bocca = 0,25 di pollice, capacità dell'insieme dell'anima e del canale della luce, senza comprendere lo spazio occupato dal tappo di cuoio = 0,08974 di pollice cubico, quantità di polvere contenuta dalla detta capacità grammi 1,585. La forza elastica era misurata da un gran peso che veniva collocato sopra F, emisfero d'acciaio ben spianato che chiudeva la bocca. Questa era dorata onde si alterasse il meno possibile al passaggio dei vapori elastici. Il fondo V dell'anima chiuso aveva assai sottigliezza, e poteva entrare in adattata cavità fatta in una palla W di ferro, che arroventata comunicasse il calorico per eccitar la combustione. Il blocco C, nel quale si agiva per mezzo della cavità g, era di bronzo; e la piastra D era di ferro battuto. Si aumentava la dose della carica di un centesimo alla volta, ed incendiata si notava se il peso era stato sollevato. Indizio del sollevamento si aveva dal rumore, perchè dall'esser questo piccolissimo, quando il peso non era smosso, diveniva, quando esso era sollevato, qual suole aversi nell'esplosione. Contuttociò a maggior cautela avvolgeva il Rumford con cotone la bocca del cannone, perchè il nero depositandosi sul cotone avvisava il passaggio dei gas.

I resultati delle sperienze mostrarono che l'elasticità non cresce in proporzione della densità, come aveva pensato Robins, ma in una proporzione di gran lunga maggiore, ed esprimendo con e la forza elastica, e con c la carica trovò che potevano i resultati assai prossimamente rappresentarsi con la formula

$$e = c^{1+0,0004c}$$

dalla quale deduconsi i numeri che qui poniamo a confronto con quelli ottenuti dall'esperienze

Carica della polvere in millesimi della capacità	*Forza elastica dedotta dalla formula in atmosfere*	*Forza elastica ottenuta per l'esper. in atmosfere*
39	76,8	77,9
78	164,5	182,5
117	269,2	228,2
156	295,6	382,4
195	541,6	561,2
234	717,8	685,6
273	927,4	811,7
312	1176,2	1164,8
351	1471,4	1551,3
390	1824,1	1884,3
429	2234,8	2219,0
468	2723,8	2575,7
507	3500,9	3285,3
546	3980,0	4008,0
585	4785,5	4722,5
624	5726,8	7090,0
702	8140,3	10977,0

Onde la forza elastica possa esse-

re espressa in atmosfere conviene moltiplicare il valore di e per 1,841; ed ogni atmosfera sarà di 1,1054 per un centimetro quadro.

114. *Forza assoluta della polvere, ed effetti corrispondenti al grado della forza.* — Per valutarla converrebbe che fosse misurata nel momento che i prodotti gasosi son formati, e mentre rimangono al più alto grado di temperatura, e sono alla maggior densità, cioè racchiusi in uno spazio eguale a quello del volume della polvere. Tutte queste condizioni non possono essere adempite, e principalmente quelle della temperatura, essendochè il recipiente stesso rapisce calorico; pure il Rumford avendo ripiena la sua provetta, e nell'atto dell'esplosione essendo questa andata in due pezzi, dedusse dalla resistenza del ferro che quella forza era di 54752 atm. sebbene il Piobert adduce giuste riflessioni per ridurre la forza occorrente a rompere il piccol cannone a 12000 atmosfere. Ma avuto riguardo che questa resistenza del ferro la quale fu vinta, addita solo che la forza della polvere doveva essere ad essa superiore, e non indica di quanto, sembra nell'incertezza doversi attenere al risultato che da la formula, il quale sarebbe

$$e = 1,841 . 1000^{1+0,4} = 29178 \text{, atm.}$$

È stata da Augendre ritrovata una nuova polvere, alla quale si crede potere assegnare una forza tripla di quella comune. Il suo composto è: prussiato di potassa cristallizzato, e polverizzato una parte in peso, zucchero bianco una parte, e clorato di potassa due parti.

Compreso il limite massimo della forza della polvere facile è dedurne gli effetti. Quando tra le pareti del recipiente ve ne ha una che non resiste ad essa, quella dovrà rompersi, e se in più luoghi si avran gradi differenti di resistenza, e minori tutti della forza della polvere, accaduta la rottura nel luogo più debole, si farà poi nelle sezioni a grado a grado più resistenti, e potrà anche il corpo scindersi in moltissime parti, giacchè la generazione dei gas è quasi istantanea, e non vi è tempo a scemar la forza per l'espansione dei gas nelle successive rotture. Come secondo effetto ne viene la proiezione dei differenti frantumi, la quale sarà tanto più impetuosa, quanto più resistenti erano le pareti che si son rotte, e quanto più per la pronta generazione dei gas ha potuto la forza superare la resistenza di quelle. Vengono i frantumi scagliati in sfera, tendendo in tutte le direzioni con egual forza ad espandersi il gas. Che se alcuni non possono esser rimossi, ne sono certamente premuti, per cui mancando o essendo mobile una parete nel vaso, la pressione accade sul rimanente del vaso, e di contro all'apertura si fa eguale ed opposta a quella che ha luogo sulla parete rimossa, o sulla massa d'aria che ne tien luogo. Di qui il moto retrogrado delle armi da fuoco dopo la esplosione, e il moto dei razzi nell'atto che bruciano.

115. *Effetto della polvere in un'arme da fuoco.* — Nelle armi lo spazio vien limitato dal proiettile che è posto subito dopo la carica, e se quello non avesse assai mobilità potrebbe dirsi che molto ci si avvicina al caso della forza assoluta. Vien scemato l'effetto dall'esistenza del foro per il quale si accende la polvere, uscendo per questo una porzione di gas. E quando è piccolo come suole essere ordinariamente, se ne tien conto considerando che nell'uscire una

porzione di gas se ne scema la densità di una quantità proporzionale alla densità stessa d. Porremo dunque nelle formule invece di d la quantità $(1-n)d$, e l' elasticità dei gas espressa per la densità in atmosfere sarà $e = 1{,}841 \times$

$$(928{,}5\,(1-n)d)^{1+0{,}3712(1-n)d}$$

Stando il proiettile ben calzato contro la carica, la densità si avvicinerà al *maximum*: come anche al *maximum* essa si approssimerà coll' accrescere il peso del proiettile, smuovendosi questo allor più difficilmente, ed avendo più tempo la polvere per bruciare in maggior copia. Pure un tal limite non sarà mai raggiunto per non star fermo il proiettile anche considerata l' azione dello stoppaccio, o di altro modo col quale si tenti di impedire sulle prime il moto del proiettile. Questo si muoverà nel primo istante lentamente, e subito crescerà la sua celerità moltissimo per il successivo formarsi dei gas, e si ridurrà al suo massimo che suole essere di circa 500.^{m} Appena il proiettile ha la velocità che possono acquistare i gas nella loro espansione e formazione, comincia ad essere scagliata anche la polvere che non era bruciata, e perciò anche la troppa polvere è d' impedimento all' esplosione. La più usata proporzione per la carica è di mettere un peso di polvere eguale alla metà nelle armi piccole, e al terzo del peso del proiettile nelle armi grosse, tenuta anche una qualche proporzione colla lunghezza della canna dell' arme. Nei fucili rimane in pericolo l' arme, se lo stoppaccio non pressa la polvere per il maggor tempo che ha questa di mettersi in total combustione prima di smuovere il proiettile. Lo stesso accaderebbe se venissè chiusa la canna alla sommità, giacchè ogni ritardo che si fa nel moto del proiettile mentre la polvere è in gran combustione reagisce sulle pareti della canna con tutta la forza viva scemata.

Nelle bombe, che sono globi di ferro fuso vuoti, la polvere deve produrre l' effetto al loro esterno col lanciarle, e nel loro interno con farle scoppiare dopo un certo tempo. Si hanno bombe, che lanciansi da mortai, di 8, 10, e 12 pollici di diametro, e le prime lasciano di giuoco nel mortaio una linea, e le ultime due linee e mezzo. Per le più grosse, che sogliono pesare 150 libbre, ed hanno una grossezza nella parete di 18 linee, si usano 5, ovvero 6 libbre di polvere per farle scoppiare. Per le mezzane, che pesano libbre 100, ed hanno 16 linee di grossezza, libbre 5; e per quelle più piccole di peso libbre 40 grosse 10 linee, una libbra e mezza di carica. Variando però questi numeri, e ponendo in più dose la polvere se la bomba vuol ridursi a piccoli frantumi. In simili vasi che crepano si riguarda come scemata la densità dei gas di circa $^1/_{44}$ e la formula della elasticità riducesi

$$e' = 1{,}841 \times$$

$$(905\,(1-n)\,d)^{1+0{,}362(1-n)\,d}.$$

E le esperienze han fatto conoscere potersi ritenere per i proiettili vuoti d' artiglieria $n = {}^1/_4$.

116. ***Del retrocedere delle armi da fuoco, e valutazione della quantità di lavoro della polvere.*** — Con pari forza il gas agisce sul proiettile e sul fondo dell' arme. E detti P, P' i pesi dell' uno e dell' altra, e v, v' i gradi di velocità che a loro si imprimono nei successivi istanti si avranno eguali le due quantità di muovimento, cioè

$$\frac{P}{g}\,v = \frac{P'}{g}\,v'$$

E poichè quello che diciamo riguardo ad un' istante segue in tutti, rappresentando con V, V' le velocità totali che respettivamente lor si comunicano in tutto il tempo dell' esplosione della polvere, ne verrà P : P' :: V' : V, cioè le velocità finali impresse alla palla e all'arme sono reciproche ai loro pesi. Si comprende pertanto come il ritorno indietro dell'arme deva esser minore al crescere del suo peso. Vogliasi determinare il retrocedere di un cannone da 24, la palla del quale pesa circa 12.^{k}, e acquista una velocità V di 500^m in un secondo. Un tal pezzo senza l'affusto, e la montatura pesa circa 300 volte il peso della palla, onde potremo valutare del doppio P', ed avremo la velocità del ritorno indietro dell'arme

$$V' = \frac{P.V}{P'} = \frac{12.500}{2.12.300} = 0^m,83$$

Si dedurrà il lavoro della polvere col prendere la metà della somma delle due forze vive comunicate alla palla e all'arme. Ripreso l'esempio precedente si avrà

$$\frac{1}{2}\,\frac{P.V^2}{g} + \frac{1}{2}\,\frac{P'.V'^2}{g} = \frac{1}{2}\,\frac{12}{9,8}\,500^2 + \frac{1}{2}\,\frac{7200}{9,8}\,0,83^2 = 153263^{km},5$$

il quale quando si voglia il solo lavoro utile deve essere scemato della porzione che si perde nel retrocedimento dell'arme, e si può ritenere questo come un massimo del lavoro della polvere. E poichè son 4 i kil. di polvere che occorrono nella carica sarà un massimo il lavoro 38416^{km} per ogni kil. di polvere in 1", cioè 512 cavalli. Lo che corrisponde alla gran forza assoluta che si è trovata di sopra se consideriamo che un tal lavoro si ottiene nel brevissimo tempo dell'esplosione, e che non si sono tenute a calcolo le resistenze vinte dalla polvere nel far percorrere alla palla tutta l'arme.

La forza della polvere provenendo principalmente dalla celerità con cui sviluppansi i gas, e dal maggior volume dei gas sviluppati, la chimica determina le proporzioni in cui han da stare i componenti onde i prodotti della combustione sieno: acido carbonico, gas azoto, e solfuro di potassa, ed essa concorda assai con la pratica, che compone la polvere comune da guerra con: Nitro 75, solfo 12 1/2, carbone 12 1/2.

117. *Uso della polvere nelle mine.* — Le mine si usano non tanto per demolire le fabbriche, quanto per aprire e smuovere i massi che si vogliono cavare. Sempre per ottenere l'effetto si procura che la polvere sia chiusa nel minore spazio necessario a contenerla, e che l'apertura per la quale si fa la carica rimanga il più che si può ristretta. Parlando dell'uso per cavare le rocce dure e salde, si fa con lungo scarpello, che è continuamente girato sotto i colpi del martello, un foro del diametro di tre centimetri e mezzo circa, e profondo da tre decimetri ad un metro secondo l'occorrenza. Talvolta per mezzo dell'acido solforico si slarga la parte inferiore per alloggiarvi maggior quantità di polvere. Si procura che rimanga la cavità bene asciutta, e non potendo ciò fare completamente, è uopo usare una canna di stagno che contenga la polvere. La carica si pone fino a riempire due terzi della profondità, e si comprime, tenendovi inserito fino al fondo del buco il chiodo, che è una sottil verga di rame. Vien posto quindi l'otturatore, sostanza in polvere fina come sabbia o argilla,

evitando il quarzo e la silice, onde nel batterla poco alla volta, come devesi, non si eciti la combustione; e per questo si è detto che l'ago sia di rame e non di ferro. Pieno il buco si leva il chiodo che lascia il vento, o spazio vuoto, destinato a ricevere il comunicatore del fuoco. Questo consiste in un piccol tubo ripieno di polvere, talvolta si usa un cannuccie di paglia o un giunco senza midolla, che introdotto entro il vento, e guarnito di miccia alla parte superiore, comunica per mezzo di lunga traccia di polvere e di esca col luogo da dove accendesi il fuoco, il quale è tanto distante che il minatore abbia tempo di porsi al sicuro. Dopo la scoperta di pile e di apparati elettro-magnetici, efficaci a rendere a distanza incandescente il filo sottile di platino, e con questo accendere la polvere, niente è più facile che con lunghi fili metallici isolati evitare ogni pericolo mandando la corrente dalla distanza che più aggrada. Aggiunge per far comprendere la grandiosità che si è data con questo mezzo alle mine, che l'Ingegner Cubitt nel 1843 fece bruciare contemporaneamente sotto una rupe calcare dell'altezza di 125^{m} circa 8000^{k} di polvere divisi in tre masse diverse in una galleria sotterranea, tripartita, e chiusa con sabbia. E appena comunicato il fuoco videsi la rupe abbassarsi per un' estensione di 150^{m}, e fu divisa in frantumi senza violenta esplosione, e con una sola lieve scossa, ed un cupo rumore. In altra occasione di una demolizione di muri, 30^{k} di polvere, posti 5 metri al di sotto delle fondamenta in tre fori separati, distaccarono una massa di muramento di circa 150000.^{k}

La forza, che ha la polvere così rinchiusa e calcata, si avvicina all'assoluta fattavi la detrazione per l'effetto del vento, e delle piccole screpolature che può presentare la roccia nell'interno. Procurasi pertanto di ottnrare queste il meglio possibile, introducendo nel foro e calcandovi argilla in polvere, la quale poi si ritoglie dalla cavità, e tale argilla può anche difendere dai piccoli trasudamenti di acqua. Nel caso che si debbano porre piccole mine presso all'abitato, siccome non mancano esempi di rocce scagliate a gran distanza, cuopresi la mina con pezzi di legname grosso onde interrompasi il moto alle piccole pietre. Spesso l'oggetto dell' esplosione è di aprire nel masso alcune fenditure, per rimuoverne i pezzi con strumenti adattati, e perciò ha il minatore l'intendimento di dirigere lo sforzo contro quella parte della roccia che più facilmente può essere spaccata.

118. *Uso della polvere nei fuochi d'artifizio.* — Non ho in animo di entrare in quest'arte che è piena di particolarità, ma di accennarne i principj fondamentali diretti a farne comprendere la meccanica, e le diversità dei fenomeni. Nei fuochi di gioia tra i fenomeni dell'esplosione della polvere prendesi in particolar considerazione lo svolgimento prodigioso di luce, e il lanciamento delle scintille. Per questo si mescolano con i componenti della mescolanza, salnitro, zolfo e carbone, per aver vivacità la limatura di ferro; per aver colori la stronziana, il sal marino, la limatura di rame ec; per ottener fiamme del bengala l'antimonio; il carbone stacciato più grosso lascia nell'aria una traccia più lunga di fuoco. Il rumore o scoppio è rimarcabil fenomeno, e le polveri fulminanti si usano a tale oggetto, ed anche alcuni particolari prepara-

ti d'artifizio come i marroni, i sassoni volanti, le bombe ec. Prima di procedere alla descrizione dei differenti apparati dirò che il lucignolo per accendere i razzi e per condurre il fuoco da un razzo all'altro, e che serve pure da miccia, componesi di un certo numero di fili di cotone, imbevuti d'alcool, o d'aceto, e dopo intrisi nel polverino: vale a dire nella polvere triturata col batterla in sacchi di cuoio.

Il razzo volante ha un cartoccio fatto con maggior diligenza degli altri pezzi, ed il cartone arrotolato vi forma la parete grossa un terzo del diametro interno: e si tiene per i piccoli razzi la lunghezza dai sei agli otto diametri esterni del cartoccio. Si procura che la colla sia ben serrata tra strato e strato, e che non resti alcun vuoto fra i fogli. Allorchè il cartoccio è quasi asciutto si tagliano in piano le estremità, indi si lega e stringe ad un mezzo diametro di distanza dall' estremità facendosi un gran ristringimento, come vedesi in A (Tav. IX fig. 5). Prima di riempire il razzo si posa verticalmente sopra un ceppo E di legno infilandolo nella verga di ferro che sorge al mezzo di esso, onde ritirato poi da questa rimane una cavità B, che si chiama l'anima del razzo. L'esistenza della verga di ferro obbliga ad usare per premer la composizione bacchette vuote, e come mostra la figura, una serie decrescente nel diametro interno, perchè nelle diverse altezze si adattino alla conicità della verga. Le proporzioni in peso nella carica dei razzi, e nei colpi occorrenti alla compressione per un' altezza di due terzi del diametro sono:

Razzi di linee	6	9	12	15
Libbre	1	1,5	2,5	4
Colpi	15	20	25	30

E quelle per la composizione,

	fuoco ordinar.	*fuoco cinese*
Salnitro	16	16
Carbone grosso e di legno duro	7	8
Solfo	4	4
Polverino		3
Limatura di ferro fuso		8

Giunti colla carica ad usare l'ultima bacchetta, che è piena e dicesi massiccia, si seguita per l'altezza di un diametro. Pei razzi più grossi di 15 linee nell'interno si lascia il cartoccio un poco più alto riempiendolo con carta straccia con dodici colpi, si ripiega anche su questo turacciolo per la metà di grossezza la parte eccedente del cartoccio; si trafora il turacciolo in più luoghi col mezzo di un puntaruolo, onde possa il fuoco comunicarsi alla guarnizione che ne vien sopra. Caricato il razzo, e levato dalla verga si pone nella sua anima un pezzo di lucignolo fino al fondo, che si attacca alla gola con pasta di esca. Per unirvi il fodero o guarnizione si involge alla sommità tre volte con carta incollata; vi si getta un poco della composizione del razzo, e si riempie di quella guarnizione, o pezzi d'artifizio C, che hanno da ardere prima che il razzo cominci ad abbassarsi. La guarnizione non si pone che ai razzi grossi, e deve equivalere circa al terzo del peso del razzo. Resta a porre la bacchetta d'ascensione che si fa di legno leggero, ben tirata, lunga sedici volte circa quella della verga di ferro, e con diametro in fondo metà di quello in cima e bene unita solidamente al razzo con due fili di ferro, dopo aver levata per il tratto conveniente la metà della sua grossezza. E per assicurarsi del giusto peso di essa si procura che il razzo colla bacchetta

resti equilibrato sulla bacchetta stessa ad un punto distante dalla miccia di una lunghezza della verga. Non sodisfacendo a quest'equilibrio, il razzo si dirige obliquo, e non fa un'ascensione retta: come anche non essendo equabilmente battuta la composizione non basta la bacchetta a regolarne la direzione. La forza della materia infiammata non aumenta neppure in proporzione della sezione dei razzi e per questo conviene dare in proporzione meno d'altezza a quelli più grossi onde possano sollevarsi. La parte massiccia mantiene il fuoco del razzo allorchè giunge al termine, ed il turacciolo impedisce che diasi fuoco alla guarnizione prima che il razzo giunga all'altezza conveniente.

Differisce un razzo da un cartoccio di un getto ordinario, sebbene abbiano entrambi la gola ristretta che dà l'impeto al getto, per l'anima che gli fa acquistare un fuoco molto più sostenuto; da cui ne viene la forza d'alzarsi a grande altezza. I getti di fuoco si battono più moderatamente dei razzi, e da 15 a 20 colpi dai più piccoli fino ai più grossi; ed in quelli molto lunghi si guarnisce la gola con argilla onde non bruci, e getti il fuoco lontano. Affinchè due razzi procedano insieme girando in spirale si attaccano sulla medesima bacchetta riuniti superiormente ed allontanati inferiormente, e il lucignolo comunica il fuoco contemporaneamente ad entrambi.

Non dirò degli altri pezzi d'artifizio, i quali tutti acquistano forza come il razzo dalla reazione che trova nell'aria il getto del gas, e piuttosto seguitando sui razzi avvertirò, che quelli alla congreve sono razzi ordinarî di grandi dimensioni coll'aggiunta all'estremità anteriore di una granata, di un'obice, o di materie incendiarie. Da questi razzi si comprende la forza che per reazione può dare la polvere: con una parte carbone, 12 clorato di potassa, 5 salnitro, una zolfo, un razzo di 17 centimetri in diametro, 48 centimetri in lunghezza può portare una palla di 21.k, non è però facile mantenere e determinare la direzione; sebbene si usi di scagliarli in lunghi cilindri. E con una parte carbone, 4 cloruro di potassa, 2 salnitro, una zolfo, un razzo di circa 6 centimetri in diametro e 19 centimetri in lunghezza porta una palla di un kilogrammo.

119. *Effetti delle polveri fulminanti e del cotone fulminante.* — Si possono avere più sostanze fulminanti di un'energia più o meno grande, ed il mercurio di Hovard è il più sicuro per non dover temere di un'esplosione spontanea, avendo esso bisogno per detonare di una determinata percussione. I fulminanti che si adoprano per le armi a canne percuziente secondo Vergnaud si fanno con 65 parti di mercurio di Hovard, e 35 di polverino. Varia il grado della richiesta percussione con mutare le proporzioni nel composto. In generale può stabilirsi che le polveri fulminanti danno esplosione tanto istantanea ed energica che è atta a comunicare accensione ad altri combustibili più coll'urto violentissimo che colla fiamma. Una prova di ciò può aversi, osservando che nello schioppo da caccia riman più facile che fallisca il colpo quando si ha cura di riempiere il focone di polvere, che quando si riempie con un legnetto ben duro e forzato, o con altra sostanza solida.

Mescolata una debole quantità di materia fulminante alla polvere, questa prende più vivacità nell'atto d'infiammarsi, e si grande energia che la

provetta a molla salta molto al di là del grado che marcava senza quell'aggiunta. Altre prove di questo genere eseguite nelle canne da fucile, e da pistola di differenti lunghezze, han dimostrato che il colpo è più forte e acuto, e non lascia deposito nella canna, e che le armi a canna lunga non aumentano considerabilmente la portata, mentre quelle con canne corte danno un prodigioso accrescimento. La reazione della canna dovendo essere più grande, particolarmente nelle armi lunghe, rimane più temibile, e qualche volta ne ha prodotta la rottura.

Ancora in alcuni artifizj volendo un'accensione brusca, e volendo determinare una viva detonazione accompagnata da zig-zag luminosi, si potrà usare una composizione con polvere fulminante, particolarmente col mercurio di Howard che permette una certa percussione (118).

Il cotone trasformato in pirossilo, chiamato cotone fulminante gode delle proprietà generali delle altre sostanze fulminanti. Meglio in questo può conoscersi la velocità nella combustione: un filamento che pesa grani 0,2 per metro brucia con una velocità di 0^{m},225: tre filamenti simili riuniti bruciano con velocità di 0^{m},5: e questa velocità cresce all'aumentare del numero di filamenti, e diviene 0^{m},5 per 20. Qualche evento inaspettato di rottura accaduta nell'esplosione, in mancanza di esperienze dirette, ci farà valutare la tensione dei gas sviluppati al suo limite inferiore. È sarebbe la tensione del gas del pirossilo dedotta dalla rottura di un piccol cannone di ferro battuto, tripla di quella che il Rumford ha attribuito al gas della polvere con densità media di 0,272. Le esperienze fatte sulle mine hanno benissimo corrisposto ed è abbisognato di cotone per produrre un dato effetto circa un quinto in peso di quello che occorreva di polvere da guerra: quelle eseguite co' pirossili sulla rottura dei proiettili vuoti mostrano una tensione di circa due volte e mezzo quella del gas della polvere. Nel mortaio-provetta la carica di 46 grammi di pirossilo comunicò ad un globo di 29,^{k}37 la stessa velocità iniziale che si sarebbe ottenuta con la carica ordinaria di 92 grammi di polvere.

Per tutte queste cose può stabilirsi che il pirossilo nei primi istanti della combustione ha un' immenso vantaggio sulla polvere, ma in seguito questo decresce. Secondo Piobert ad $^{1}/_{14}$ del tempo totale della combustione è già divenuto il pirossilo inferiore alla polvere, lo che spiega la grande energia di queste sostanze nella rottura dei proiettili e delle mine, e l'inferiorità di essa relativamente alle armi lunghe.

120. *Uso della polvere come motore nelle macchine.* — Potrebbero anche adoprarsi successive esplosioni della polvere per far muovere uno stantuffo entro un cilindro da un' estremità all'altra e viceversa. E l'asta dello stantuffo nelle sue corse alternate può comunicare un moto continuato di rotazione ad un'albero della macchina che serva da motore. Ma la istantaneità dell'accensione comunica urti troppo subiti, e per quanto si sia provato uno stantuffo con alcune molle nell'interno perchè abbia cedevolezza, pure nessun vantaggio ha presentato una tal macchina. Si aggiunge che la potenza corrosiva dello zolfo e dell'acido solforico tendono a guastare la macchina.

121. *Motore a gas idrogene* —

Questo gas mescolato con la metà in volume di gas ossigene, lasciando un vuoto quasi assoluto nell'atto della combustione, detona ed esplode così violentemente, che nell'azione non rimane meno difettoso della polvere da tiro, per venire adoprato come motore nelle macchine. Men pronta è l'esplosione allorquando si brucia mescolato coll'aria atmosferica: allora soffre la massa gassosa istantaneamente un'aumento di volume e successivamente una grandissima diminuzione, riducendosi in parte in piccolissimo volume di acqua. Si valse il Volta di questa forza motrice formandone la pistola elettrica. Questa è un resistente vaso metallico (Tav. X. fig. 1) che chiuso al fondo, ivi in prossimità sta un piccolo globetto attaccato ad un filo metallico, il quale isolato entra dentro il vaso, e termina a poca distanza dalle pareti. Ripieno il vaso di gas idrogene per poco più di un terzo della sua capacità, e nel rimanente contenendo dell'aria atmosferica, si chiude l'apertura fortemente con un tappo di sughero. Dipoi comunicata una scintilla elettrica al globetto ne viene esploso con impeto grande il tappo non senza rumore, che è l'effetto dell'aria che entra nel vuoto formato nell'accensione del gas.

Il Brown applicava il gas idrogene in adattata macchina al sollevamento dell'acqua; il Macchi di Cecil, ed il Farish ne hanno fatta una macchina motrice generale; ed ultimamente è ritornato su questo soggetto in Firenze il sig. Felice Matteucci. Il gas idrogene passa in un cilindro con stantuffo, e nello stesso tempo entra per'ivi aria atmosferica che è stato riconosciuto dovere eccedere il quadruplo del volume del gas. Si infiamma la mescolanza o colla spugna di platino o colla scintilla elettrica; dall'esplosione viene spinto lo stantuffo, e pel vuoto che le succede esso subito ritorna indietro.

122 *Motore ad acido carbonico* — Il Brunel si valse della forza d'espansione dell'acido carbonico liquido (18) come agente meccanico. Questo liquido sotto la pressione di 30 atmosfere ed a 10° C, vien contenuto in due cilindri che comunicano fra loro. Per distruggere l'equilibrio si fa variare la temperatura di uno dei due cilindri per esempio fino ad 83°. Allora il liquido acquista una tensione di 90 atmosfere, e questa forza agendo con uno stantuffo sopra il gas condensato a 30 atm. nell'altro cilindro resta attiva per 60 atm. e fa muovere lo stantuffo stesso, il quale dà il movimento alla macchina.

123. *Motore ad aria rarefatta, e ad aria compressa.* — Ho già parlato (4.6) di questo soggetto, e relativamente alla strada atmosferica ho riportato il disegno adottato in quella di S. Germain; ora aggiungerò alcune considerazioni per poterne calcolare l'effetto. Fin dal 1839 fu messo in pratica da Dublino a Kingstown il sistema pneumatico: una macchina a vapore fissa di 16 cavalli operò tal rarefazione nel tubo del diametro di $0^m,23$, e lungo 800 metri, da portare la pressione dell'aria da 30 pollici inglesi a 20, e 18, e da dare una potenza impulsiva su tutto lo stantuffo di 636,9 e respettivamente 572, 82 libbre inglesi. Dopo la prolungazione della strada fino a Dolki, ove la pendenza di essa varia dal 4,6 al 17,5 per 1000 (la media è dell'8,6 per 1000) ebbe il tubo fatto con ferro di getto un diametro di

$0^m,381$; e una lunghezza di 2800 metri; ed una sola macchina a vapore fissa della forza di 100 cavalli in 8 ovvero 9 minuti portava l'altezza del mercurio da 30 pollici a 5,2. Affinchè il treno rimanesse in azione bastava l'altezza di 15 pollici, la quale somministrava una forza di libbre 1320 sullo stantuffo: un treno di 58 tonnellate prende una velocità di circa 20 miglia italiane all'ora. Il *maximum* di velocità che sembra potersi dare al treno è di 45 miglia inglesi all'ora. Gran vantaggio di questo sistema è l'aver collegato colla strada il punto d'appoggio, e di non doverlo trovare nell'attrito, come accade per le ordinarie locomotive (*Mecc.* 89). Quindi può tornare utile ove l'acclività del terreno sia notabile, ed ove la linea sia corta da 4 a 5 miglia, ed ove le gite si abbiano a ripetere spesso, e con non molto carico. All'incontro il sistema atmosferico se presenta economia nella montatura, non la presenta nella forza, nè è capace di grandissime velocità nel treno, nè è adattabile per le linee lunghe ove le fermate sono frequenti. Ed è gran difetto l'aver per tutta la strada la stessa forza motrice, che non può esser regolata dal condottiero per farne risparmio quando vuolsi fermare il treno.

Non sono in azione macchine locomotive mandate ad aria compressa, ma non mancano ingegnosi progetti fra i quali quello del Pequer che permette di porre a profitto le declività del suolo, e quello del Piatti di Milano che presenta un sistema analogo a quello di Clegg e Samuda mutata la rarefazione in condensazione. Si sono eseguite da molto tempo le molle a aria compressa, e quelle di Brissell consistono in un cilindro chiuso da ambe le parti con stantuffo, nell'interno. L'asse dello stantuffo che si muove in un collare stoppato forma l'appoggio rivolto in basso mentre quello in alto è il fondo del cilindro. Uno strato di olio e biacca rende impermeabile all'aria la guarnitura di cuoio dello stantuffo.

194. *Motore ad aria calda.* — Fin da molto tempo era stato avanzato il progetto di una macchina che agisse per l'espansione che riceve l'aria nel riscaldarsi, ed il principio consisteva nel collocare il recipiente metallico che riceve l'aria per la metà inferiere immerso nell'acqua fredda, e per l'altra metà superiore involto dalla fiamma, e nel costringere l'aria a passare dall'una all'altra metà col farvi passeggiare dentro dall'alto al basso col mezzo di un'asse un secondo vaso metallico chiuso che ne occupasse una gran parte. Ma questa macchina non comparve mai utile per la gran perdita di tempo nel riscaldare o raffreddare sufficientemente l'aria, e poco tempo non basta ad ottenere la variazione di volume necessaria.

Ultimamente Ericsson eseguì e pose in azione per muovere un battello, una macchina ad aria calda, ed anche per l'uso di un motore fisso. Ed il disegno che riporto (Tav. X. fig. 2) rappresenta la sezione verticale di una macchina posta in un'officina a Nuova York. Egli si partì dal principio di diminuire molto il combustibile che deve mantenere l'azione alla macchina, col togliere una gran parte di calorico all'aria che ha funzionato per restituirlo a quella che ha da funzionare. E potè ciò ottenere facendo passare l'aria, che ha agito sullo stantuffo, in un cilindro pieno

di reti metalliche. Le reti le rapiscono il calorico e si riscaldano; e divenendo tosto il loro cilindro luogo di passaggio della nuova aria, restituiscono il calorico a questa. In tal modo ottenne una macchina, che sebbene nel suo primo getto collocata in un battello sia ora stata rimossa e rimpiazzata da una macchina a vapore, pure ha fatto credere per qualche tempo che potesse reggere il confronto del vapore. Nè è fuori di speranza che la macchina ad aria calda possa sorpassare i vantaggi di quello quando avrà subito i miglioramenti che l'uso saprà suggerire. Due cilindri A, B, uno inferiore per l'aria calda di maggior diametro, e l'altro superiore di minor diametro che può dirsi cilindro alimentare, sono uniti insieme, e l'interno di ambedue comunica liberamente coll'atmosfera per le aperture *a a*. I respettivi stantuffi C, D, son pur collegati e formano tutto un sistema, mediante le verghe metalliche *d d*, che termina nella parte superiore con la verga centrale E, la quale passa per un collare stoppato al di sopra del coperchio del cilindro alimentare per articolarsi col bilanciere. Due valvole sono in questo coperchio quella *b* che si apre di alto in basso, per prendere l'aria dall'atmosfera, e quella *c* che si apre inversamente di basso in alto, mettendo il cilindro B in comunicazione con una capacità F cilindrica, detta il cilindro dell'aria compressa. Un quarto cilindro G, ripieno con molti strati di reti metalliche, per una delle sue basi comunica con quello dell'aria calda, e coll'altra può comunicare o coll'aria atmosferica mediante il tubo *g*, o con il cilindro dell'aria compressa mediante altro tubo *e*. Questo può accadere per essere nel condotto *o*, ove immettono i due tubi un'asse che alzandosi ed abbassandosi fa muovere due piccoli stantuffi *f*, *h*, uno dei quali chiude la comunicazione con un tubo quando il secondo l'apre coll'altro, e viceversa. La fiamma dopo aver lambito la volta del cilindro ad aria calda gira attorno ad esso, ed il fumo prima di passare al cammino circonda il cilindro delle reti metalliche. Ecco come la macchina agisce: l'aria passa dal cilindro F a quello delle reti metalliche, e a quello A, ove si riscalda, e prende maggiore elasticità; solleva lo stantuffo C e quello D, e la verga E. Allora altra aria dal cilindro B, aprendosi la valvula *b*, s'introduce nel cilindro F, ed intanto il piccolo stantuffo *f* lascia aperta la comunicazione tra il cilindro delle reti metalliche ed il tubo d'escita *g*. Scende per il proprio peso il sistema dei due stantuffi C D, e l'aria calda che era in A passa attraverso alle reti, abbandona ad esse il calorico, e per *g* si perde nell'atmosfera; mentre nel cilindro B si è aperta la valvula *b*, ed entra l'aria atmosferica. Torna poi collo stantuffo *f* a chiudersi il tubo *g*, e coll'altro *h* ad aprirsi la comunicazione tra le reti metalliche e il serbatojo F dell'aria condensata, onde di nuovo passa l'aria da questo per le reti metalliche ove, ripreso il calorico, s'introduce nel cilindro A, e riprincipia il giuoco.

CAPITOLO VII.

Della formazione del vapor d'acqua, e delle caldaie a vapore.

125. *Evaporazione*. — La formazione del vapore sebbene ci interessi principalmente per le macchine a vapore; pure ho creduto doverla riguardare sotto un'aspetto più generale, essendochè anche al riscaldamento a vapore può servire, all'asciugamento, alle dottrine dell'umidità, e ad altri soggetti interessanti nelle applicazioni. Distinguo la lenta formazione del vapore la quale accade anche naturalmente, e si indica col nome di evaporazione, da quella che si fa artificialmente col fuoco e dicesi vaporazione. Ed alludo col discorso quasi sempre al vapore d'acqua, per quanto poco diversifichino le dottrine de' diversi vapori come avremo luogo di notare mentre a qualche altro vapore rivolgerò il discorso. Le leggi dell'evaporazione sono:

I. La quantità di vapore che si forma è in ragion diretta della superficie libera evaporante. E chiamasi una superficie libera del liquido, quella ove sta a contatto coll'aria, o con altro fluido aeriforme.

II. E pure proporzionale allo spazio ove si svolge, formandovisene eguali quantità tanto mentre lo spazio è vuoto, e mentre è occupato da altro gas. Colla differenza che nel vuoto l'evaporazione è quasi istantanea, e che l'aria e i gas la ritardano. Limita l'evaporazione la sola pressione del vapore del liquido evaporante, e la pressione di un'altro fluido non può che ritardarla. Quindi le correnti di aria che trasportano via il vapore formato sono cagioni di una più pronta evaporazione. E come l'aria è d'impedimento alla formazione del vapore, così lo è alla sua decomposizione, e dà luogo al vapore vessicolare.

III. Anche a bassissima temperatura l'acqua evapora, ma più copiosamente alle temperature elevate, e con queste cresce la tensione (11) massima che può acquistare il vapore. Il punto dell'ebullizione in vasi aperti non è che quello nel quale la tensione del vapore eguaglia la pressione atmosferica. Può dirsi che anche la temperatura del mezzo influisce sull'evaporazione, e che quanto è più bassa di quella del liquido più è pronta l'evaporazione, giacchè il vapore si condensa a misura che si forma, e rimane il liquido ad evaporare come in uno spazio vuoto.

IV. Nel parlare dello svolgimento del vapore deve distinguersi, se accade in uno spazio finito, o in uno spazio indefinito. Nel primo il vapore si distende in tutto quello spazio fino alla densità massima (15) che può prendervi per la temperatura che vi esiste. Abbiamo già determinate le formule che fan conoscere il peso (15) del vapore per l'unità di volume, onde è facile dedurne quale sarà quello per tutto lo spazio assegnato ad una qualsivoglia temperatura, ed anche conoscere la respettiva tensione.

V. Nello spazio indefinito restando indefinita la quantità di vapore, che può esistervi, a qualsivoglia temperatura, solo può richiedersi il tempo nel quale si svolgerà in vapore una data quantità d'acqua. Questo in gran parte dipenderà dal movi-

mento dell' aria sovrastante alla superficie che evapora, e dalla temperatura dell' acqua, e ritenuto che l'aria abbia quel solo piccolo movimento che accade naturalmente in un luogo abitato, comprendesi il vantaggio per la pratica di conoscere l'evaporazione sotto diverse temperature. Non conoscendo alcun buon resultato sperimentale su tal soggetto credei conveniente istituire coll' aiuto del Sig. Dott. Adamo Bisset una serie d' esperienze dalle quali resultò in 24 ore di tempo

Acqua evaporata per un centim. quadrato	Temperatura del liquido	Temperatura dell' ambiente	Umidità atmosferica Igrometro a capello
0,k0068	0°o	2°,5.o	49°
0,0032	7,5	7,5	90°
0,0031	10	10,0	96
0,1516	25	13,5	62
0,1105	30	14,5	78
0,2385	37,5	14,	66
0,3582	43,5	15	77
0,5961	50	16	82
0,8067	55	17	80
1,1345	63,5	17	80
2,3910	75	17,5	75
3,6421	84	17,5	75

126. *Vaporazione.* — Non si guadagna niente a fare evaporare l' acqua lentamente se ciò avviene per effetto del fuoco artificiale, e non del calore naturale, giacchè la quantità di calorico assorbito dal vapore è lo stesso che se la evaporazione (che allora più propriamente dicesi vaporazione) fosse stata rapidissima. Sotto una pressione qualunque e ad ogni temperatura l' acqua assorbe (15) circa 550 gradi centigradi nel suo passaggio allo stato di fluido aeriforme. E se non si guadagna può perdersi calorico nel prolungare il tempo del processo per il contatto dei corpi circostanti, e particolarmente dell' aria. Interessa adunque conoscere il punto della massima vaporazione. Kluproth fece esperienze sulla temperatura della massima vaporazione nei vasi di rame e di ferro, e furono ripetute in America dal Comitato di Franklin ove si concluse:

1.° Con il medesimo metallo la temperatura del *maximum* di vaporazione dell'acqua è più bassa quando il pulimento della superficie è più grande. Per le piccole masse d'acqua nel rame ben pulito si è trovata a 144°,4 C, e in quello molto ossidato a 175°,4 C; e nel ferro pulito a 167° oppure 170° C e in quello ossidato a 175.° C, e nel moltissimo ossidato a 194.°

2.° La temperatura del massimo di vaporazione è per il ferro da 17.° e 22.° più elevata che per il rame. Ed anche il tempo della vaporazione al punto *maximum* è minore per il rame che per il ferro di circa il doppio, e probabilmente in ragione dei loro poteri conduttori del calorico.

3.° Nelle quantità d'acqua grandi tanto nel rame quanto nel ferro il potere vaporante cresce con regolarità al crescere della temperatura e giunge al suo massimo per il rame a 298°,9 C, e per il ferro a 288 C, ed anche a temperatura superiore quando si accresce l'acqua in proporzione della superficie metallica che bagna.

4.° La repulsione tra il metallo e l'acqua è perfetta a 11.° o a 22.° al di sopra del punto massimo di vaporazione, a questa temperatura l'acqua

non può bagnare il metallo : le gocciole d'acqua girano sopra loro stesse in varie direzioni, talvolta rimangono in riposo e si evaporano lentamente.

5.° L'acqua collocata sovra un metallo incandescente è atta a produr vapore esplosivo ancorchè non raffreddi il metallo al di sotto della temperatura che corrisponde alla più rapida evaporazione. Pure il metallo alla temperatura inferiore al rosso oscuro di 111°,6 si trova in condizioni più favorevoli per evaporare di quello che sia quando è rosso.

Il medesimo Comitato fece esperienze sul lavoro tumultuoso dell'ebullizione nell'interno della caldaja, e sull'alterazione che si fa nel livello del liquido, dalle quali resultò

1.° A misura che l'apertura di evacuazione del vapore si fa maggiore, l'ebullizione rendesi più generale e più grande, e cresce ancora al crescere della tensione del vapore.

2.° All'aprirsi della valvula di sicurezza si aumenta l'ebullizione, e fu talvolta osservato, per mezzo di adattate lastre di cristallo, riempiersi per l'ebullizione anche tutta la caldaja.

3.° Mentre il vapore era a due atmosfere, aperto un rubinetto superiore al livello esciva da queste soltanto vapore, aperti due simili rubinetti cominciava ad escire anche acqua, aperti tre simili rubinetti esciva acqua in maggior quantità, che si accresceva anche all'aprir della valvula di sicurezza, e si sollevava l'acqua fino all'altezza di tre pollici sul livello che avrebbe tenuto senza le dette aperture.

127. *Vaporazione in un vaso ove esiste un' apertura*. — Sia l'apertura assai piccola, onde si formi nel vaso sulle prime più vapore di quello che sfugge da quella, crescerà la temperatura, e la tensione del vapore, e crescerà egualmente la celerità nell'egresso del vapore, e si avvicineranno sempre più ad eguagliarsi i due volumi, del vapore che esce, e di quello che si forma. Stabilità questa eguaglianza rimarrà costante la temperatura e la tensione del vapore, onde si avrà un limite, o *maximum* di tensione e di temperatura, il quale non potrà mai oltrepassarsi, che dipenderà dall'ampiezza dell'apertura, e dalla sorgente calorifica. Questo limite sarà il più prossimo quando è massima l'apertura, cioè quando il vaso è totalmente aperto, essendo a 100 gradi la temperatura, e a 760.^{mm} la tensione. E sarà il più lontano questo limite quando l'apertura è del tutto chiusa, giacchè allora se il vaso sia convenientemente resistente si convertirà l'acqua in vapore e crescerà la temperatura e la tensione finchè il calore che si somministra al vaso non eguaglia quello che dal vaso stesso si disperde pel contatto dell'ambiente. Il Cristian ha fatto esperienze su questo soggetto e per le seguenti aperture, mentre la caldaia che aveva di superficie interna 0^{mq},564, era esposta tutt' all' intorno ad un vivo fuoco, e ritrovò le dicontro temperature massime nel vapore

9^{mmq}	138° C
18	115
30,5	112
36	105,5
122	101
190	100

Da quel fuoco si produceva un kil. di vapore in tre minuti. Con fuoco più moderato capace di produrre un kil. di vapore in 18' l'apertura di 18 millimetri quadrati diede per ma-

simum di temperatura 161.° C, e la stessa temperatura ottenne con fuoco anche più debole capace di produrre un kil. di vapore in 34' quando l'apertura era di 9^{mmq}.

128. *Effetti dell'iniezione dell'acqua, e degli svolgimenti dei gas.* — Nell'ebullizione che segue entro la caldaie può l'acqua andare a contatto con pareti, che si erano scaldate in eccesso per l'azione del fuoco, ed allora il vapore va soggetto a degli aumenti di tensione molto rapidi posto che tale temperatura non sia superiore a quella della più facile vaporazione (126) dell'acqua in piccole masse che è di 167, C per il ferro. Che se quella temperatura è tale da manifestare la repulsione tra l'acqua e il metallo allora non si hanno che piccoli aumenti nella tensione del vapore.

L'iniezione dell'acqua può farsi nella caldaja quando è quasi asciutta, ed allora un lavoro tumultuosissimo è prodotto dall'acqua sul metallo scaldato in eccesso, agitandosi la massa in tutte le direzioni, e producendo tensioni di vapore crescenti al crescere della temperatura del fondo della caldaja, non però tanto quanto porterebbe quella temperatura; nè producendosi vapore caldo al pari del fondo della caldaja. In generale può stabilirsi che il vapore e il metallo si cedono il lor calore a vicenda per rimpiazzar quello che era stato assorbito dalla conversione in vapore dell'acqua iniettata. Contuttociò l'iniezione dell'acqua in un vapore scaldato in eccesso, o dilatato, voglio dire non al *maximum* di densità, ha dato luogo ad un'accrescimento di elasticità.

D'ordinario l'iniezione di acqua per alimentare la caldaja avviene in altra acqua più calda. Più la quantità dell'acqua introdotta è grande, più si abbassa la temperatura nell'altra acqua, e più si scema l'elasticità del vapore. Che anzi lo scemarsi istantaneamente questa elasticità fa conoscere il rapido comunicarsi della temperatura tra le pareti metalliche e il vapore.

Nell'iniezione dell'acqua si ottengono alcuni gas, cioè si ha aria atmosferica privata di ossigene dal contatto del metallo caldo, ed introdotta meccanicamente dall'acqua; non si hanno gas provenienti da decomposizione di acqua.

129. *Condensazione del vapore.* — Ciò che abbiamo detto (16) mostra esser necessaria una gran quantità d'acqua per ottenere una condensazione incompleta. Incompleta dico, giacchè il vapore riman sempre alla tensione che conviene alla temperatura che prende l'acqua d'iniezione mescolata con quella che proviene dalla condensazione. Una macchina della forza di 20 cavalli richiede almeno 12000 kil. d'acqua fredda per ora, o 200 kil. per minuto nella condensazione.

Nell'origine delle macchine a vapore la condensazione si faceva nei cilindri stessi ove agiva il vapore, iniettandovi dell'acqua fredda. Se ne aveva perciò il gravissimo inconveniente di raffreddare il cilindro. E fu per toglierlo introdotto l'uso, sempre poi seguito, di farla in un vaso separato coll'iniezione dell'acqua fredda. L'inconveniente che sempre si ha è di non potere utilizzare per la caldaja che piccola quantità dell'acqua che ha servito alla condensazione, e che l'altra non solo non può utilmente restituire il calorico, ma neppure può servire a successive condensazioni se non le si rapisce la elevata temperatura che ha

concepita. Di qui gli apparati per far perdere all'acqua questa temperatura, come canali che la tengono in moto, e vasche che la conservano per tutto il tempo che occorre al suo raffreddamento.

La mancanza dell'acqua fredda necessaria alla condensazione è il motivo che costringe ad usare le macchine ad alta pressione tanto nelle locomotive, quanto nei battelli a vapore, ed ancora in quelle macchine fisse che sono in località da non avere acqua a sufficienza. Si sono imaginati degli apparati refrigeranti dell'acqua, e Nickool d'Elbam ne suggerisce per le locomotive uno composto di una tela sulla quale, mentre è esposta alla corrente del vento prodotto dal moto del treno, scorre dall'alto al basso l'acqua che ha servito alla condensazione ed in parte evapora, e si raffredda per servire a nuova condensazione.

È stato tentato di produr la condensazione senza il getto dell'acqua fresca: facendo cioè passare il vapore per recipienti metallici di gran superficie e poca capacità, attorno ai quali sta l'acqua fredda; ed Hall ha usato a tale oggetto molti cilindri di piccol diametro, i quali hanno, atteso la piccolezza, conveniente resistenza per reggere le pressioni che soffrono all'esterno, essendo il vuoto nell'interno, senza che le lor pareti sien grosse, lo che nuocerebbe alla trasmissione del calorico.

130. *Acqua che il vapore trasporta seco, e modo di evitarla.* — Nell'escire il vapore dalla caldaja a misura che l'ebullizione si fa più tumultuosa maggior quantità d'acqua seco trasporta. Il Pambour ha ritrovato che in alcuni casi era il peso dell'acqua trasportata 0,32 di quello del vapore. Si è procurato di toglier l'acqua 1.° collo scemare il tumulto nell'ebullizione, prendendo vapore non in un sol punto ma in moltissimi punti sopra al livello dell'acqua della caldaia; 2.° col riscaldare il vapore dopo la presa nel tubo che lo conduce; e questo è un modo molto efficace, sebbene quando il riscaldamento non sia ben regolato può accadere che il vapore acquisti troppo elevata temperatura e non rimanga al *maximum* di densità; 3.° col fare entrare nel tubo di presa il vapore per stretta apertura, onde vi abbia a soffrir subito dopo l'ingresso un' espansione, ed un riscaldamento per essere immerso il tubo per un certo tratto entro l'acqua della caldaia; 4.° coll'essere la presa del vapore in un' estensione assai grande come in una cupola, dalla sommità della quale, è assai distante dal livello dell'acqua, si apra il tubo che riceve il vapore.

L' effetto dell' acqua trasportata meccanicamente dal vapore è dannoso, sia che si abbia ad usarlo come motore, o come modo di riscaldamento. Non solo si perde tutto il calorico comunicato all'acqua, ma si fanno da essa dei trasporti e depositi di materie che impastano i condotti, e ne diminuiscono la conducibilità.

Delle Caldaie

131. *Classazione e requisiti delle Caldaie.* — Le caldaie che si usano per formare i vapori sono di differenti specie a seconda dell'oggetto a cui devono servire. Per il piano propostomi basterà che io dica di quelle aperte, che si usano per evaporazione, di quelle chiuse munite di condensatore che si adoprano per la distillazione, di quelle per la vaporazione dell'acqua a bassa pres-

sione, ad alta pressione, di quelle a fuoco interno, tubulari, e da battelli a vapore.

Si distinguono le caldaie per la resistenza che hanno alla tensione dei vapori, per l'economia che presentano nel consumo del combustibile, per la celerità con cui riducono l'acqua in vapore. La resistenza dipende dalla forma e dalla grandezza della caldaia, dalla grossezza delle sue pareti, dalla materia che la compone. Si soglion fare le caldaie di rame o di ferro. Ne sono state costruite di legno e di pietra o muramento con il focolare nell'interno: all'oggetto di aver poca dispersione di calorico. Il rame offre notabil vantaggio per il suo poter conduttore anche più di due volte maggiore di quello del ferro: il prezzo se ne è maggiore ha un compenso nel non esser come nel ferro totalmente perduto il capitale quando la caldaia è fuori d'uso: e se la resistenza ne è minore ha pure un compenso nella perfetta omogeneità. Tranne il caso della fabbricazione dell'acido solforico, nel quale si usano le caldaie di piombo, non si adoprano per la costruzione di esse altri metalli.

152. *Evaporazione spontanea, e a caldaie aperte.* — Nel separare il sale dall'acqua marina si usa l'evaporazione spontanea in vasi bassissimi e di molto estesa superficie esposta all'aria libera nei tempi che questa è più asciutta e più calda: ovvero facendo cader l'acqua sù graticci ove deva moltissimo suddividersi e portarsi a gran contatto coll'aria. È stata usata una forte corrente di aria, la quale sia che nel primo dei rammentati metodi percorra la superficie evaporante, sia che nel secondo attraversi la massa liquida, è capace di accelerare l'evaporazione.

Nelle saline di Volterra, l'acqua satura del sale che si leva dai pozzi è passata nelle caldaie di ferro basse e molto estese, e sotto ad esse si fa agire il fuoco e scorrere l'aria calda in tutta l'estensione della caldaia per affrettare l'evaporazione. In tal disposizione può esser limitato il riscaldamento del liquido: se la superfice di questo esposto all'aria libera è grandissima in confronto alla quantità del combustibile acceso, il vapore potrà rapire tutto il calorico che di mano in mano si somministra dalla combustione. La perdita del calorico a data evaporazione, è più grande quanto è meno elevata la temperatura per quello che in maggior tempo vien comunicato all'aria, e per quello che è irraggiato dal liquido. Quindi l'evaporazione artificiale col fuoco nelle caldaie aperte costa più quanto a più bassa temperatura si eseguisce. Quando l'evaporazione accade alla temperatura dell'ebullizione, l'estensione della superficie del liquido non ha alcuna influenza sull'evaporazione: potrebbe la caldaia esser chiusa per modo da lasciar passare il solo vapore formato. Nè può dirsi che le caldaie aperte disperdano più calorico di quelle chiuse, anzi forse ne dissipano di meno, giacchè il coperchio della caldaia irraggia più calorico che la superficie del liquido. In caldaie lunghe 25 metri e larghe 5 fatte in lastre di ferro grosse $0^m,004$, la graticola è lunga $1^m,4$ e larga $0^m,8$ e l'effetto utile è di $7^k,5$ di acqua evaporata per ogni kil. di carbon fossile, e per la produzione della stessa quantità di sale il combustibile consumato tenendo l'acqua all'ebullizione sta a quello che occor-

re per l'evaporazione ad una temperatura più bassa ::3 : 4 in circa.

Questo effetto è grande e proviene dalla tendenza che ha l'aria calda a distendersi a contatto di tutto il piano inferiore della caldaia per occupare il luogo più elevato. Quando si è cercato con numerosi andirivieni fatti con muricelli sotto la caldaia di distribuirvi l'aria calda, l'effetto utile è scemato, e forse perchè quella fredda non avendo libero adito si mesce colla calda, e fa un mezzo ad uniforme temperatura per tutta l'altezza di tali condotti.

135. *Distillazione, e Lambicchi.* — La distillazione si fa per separare una sostanza che può volatizzarsi da una fissa, o da altra che può pure volatizzarsi, cioè ridursi in vapore, ad un differente grado di temperatura. Dirò poche parole solo di questo secondo oggetto, ed alludendo alla distillazione dei vini per la formazione dello spirito. Sempre conviene sottoporre il mescuglio all'azione del calore per ridurre in vapore la sostanza più evaporabile, e raccolti i vapori di essa condensarli. Laonde nell'escire i vapori dalla caldaia si raccolgono in uno spazio le cui pareti fredde assorbendone il calorico latente li fanno tornare allo stato liquido. E dipendendo dalla superficie del condensatore la quantità de' vapori condensati, si è ritrovato che la condensazione del vapor d'acqua per ogni ora e per ogni metro quadrato di una superficie di rame grosso da 2 a 3 millimetri è di $1^k,4$ quando rimane a contatto con aria a 15°, e di 107^k quando rimane a contatto con acqua da 20 a 25°.

Il lambicco doppio del Brugnatelli è composto (Tav. X. fig. 6) della cucurbita *ab*, alla quale stà sopra il vaso *c* che nei comuni lambicchi forma il refrigerante. Qui chiuso e coperto esso pure da altra volta forma un secondo lambicco che serve per rettificare l'acqua vite ottenuta dalla prima distillazione. Per il tubo *f* passa l'acquavite nel serpentino che è dentro al tino *p*, e per il tubo *g* passa nel tino *q* l'alcool. I due tini *p,q* sono ripieni di vino che raffredda l'acquavite, o alcool, condotta dai serpentini, e frattanto concepisce una certa temperatura che ne facilita l'ebullizione, allorchè vien poi quel vino passato nella cucurbita all'occasione che vi si toglie il vino residuo dealcoolizzato. La caldaia *a*, il vaso *c* e i due tini sono muniti delle adattate cannelle per vuotarli e delle altre particolarità che mostra la figura.

Premesse queste nozioni, ad oggetto di far comprendere le teorie relative a tali generi di caldaie, supponiamo che ci sia proposto di stabilire i calcoli per la distillazione di 100^k di vino per ora. Ritenuto che l'acqua stia all'alcool ::24 : 1, lo che rappresenta $^1/_8$ del peso di acquavite a 22° Baumè, e che come mostra l'esperienza per ottenere quasi tutto l'alcool contenuto nel liquido si abbia a ridurre in vapore 0,22 della massa totale, e il liquore ottenuto dia all'areometro un titolo medio di 17° composto di 0,042 di alcool e di 0,178 di acqua: ad ottenere la quantità di carbon fossile necessaria converrà contare di dovere evaporare $4^k,2$ di alcool, e $17^k,8$ di acqua, e scaldare il rimanente 78^k del liquido a 100.° L'alcool bolle a 78,41, ed assorbe nella mutazione di stato una quantità di calorico capace di elevare il medesimo peso di acqua a 207.° Inoltre il calorico specifico dell'alcool essendo 0,622, un

kil. di alcool a zero per esser ridotto in vapore assorbirà un numero di unità di calore eguale a

$$78,41\times0,662+207=259$$

che sono circa $^4/_{10}$ del calorico che occorre per ridurre da zero in vapore a 100° la stessa quantità d'acqua. Ma si sa che un kil. di carbon fossile riduce in vapore 6 kil. d'acqua, dunque un kil. di carbone potrà ridurre in vapore 15^k di alcool, e per $4^k,2$ occorrerà di carbone

$$\frac{4,2}{15}=0^k,28$$

Si è detto che un kil. di carbon fossile dà 6^k di vapor d'acqua, e per $17^k,8$ d'acqua occorrerà di carbone

$$\frac{17,8}{6}=2^k,967$$

Siccome un kil. d'acqua ridotta in vapore contiene 650° di calore, e un kil. di carbone ne produce a sei volte più, cioè 5900°, dunque per elevare a soli 100° un kil. d'acqua occorre $^1/_{59}$ di kil. di carbone, e per elevare a 100° i 78^k occorrerà di carbone

$$\frac{78}{59}=2^k$$

conclude che il carbon fossile ricercato è $5^k,247$.

In un apparecchio ben costruito che dà 6^k di vapore acqueo per un kil. di carbon fossile, non si può contare che tra 15^k e 20^k di vapor d'acqua per metro quadrato di superficie di riscaldamento e per ora, e pel vapore d'alcool crescendo nel rapporto di 4 : 10 tra 37 e 50^k. Onde la superficie di riscaldamento della caldaia dovrà essere per il vapor d'alcool

$$\frac{4,2}{37}=0^{mq},114$$

e per il vapor d'acqua

$$\frac{17.8}{15}=1^{mq}187$$

Concludo che la superficie di riscaldamento della caldaia deve essere di metri quadrati 1,301. Con questo dato, e con le regole che abbiamo stabilita (62 *e seg.*) si determinerà l'estensione della graticola, e di tutte le altre particolarità relative al focolare.

Rimane che io faccia comprendere come si possa determinare il condensatore che supporrò sia di rame ed agisca coll'acqua a 10°. Per il vapore d'acqua dovrà abbassarsi la temperatura di 90°; e si è detto che per una differenza di 80° a 75° la condensazione per metro quadrato è di 107^k. Preso il primo numero, ed ammessa la legge di Newton sul raffreddamento, avremo che la superficie richiesta per i $17^k,8$ è

$$\frac{17,8.80}{107.90}=\frac{1424}{9650}=0^{mq},14787$$

Per il vapor d'alcool converrà confrontarlo con quello dell'acqua. L'alcool a 22° Baumé contiene 64 parti d'acqua e 36 d'alcool puro, onde ritenuto il calorico latente dei due vapori in 550° e 207° si ha, che la quantità di calorico emessa per la condensazione di un kil. di quell'alcool sarà

$$0,64\times550+0,36\times207=426;\ \text{cioè}\ \frac{426}{550}$$

è la frazione del calore che emette l'alcool a confronto con quella dell'acqua. Ed i $4^k,2$ richiederanno una superficie di

$$\frac{4,2.80.426}{107.90.550}=0^{mq},02702$$

conclude che occorrerà un refrigerante esteso per $0^{mq},17489$ di superficie.

154. *Caldaia a bassa pressione di Watt.* — Questa terminata (Tav. X fig. 4) alla parte superiore in forma convessa cilindrica presenta in basso e alle parti laterali superfi-

cie concava. È formata con forte lastra battuta di ferro: nel fondo ha 0^m,011 di grossezza, nei fianchi e nel rimanente 0^m,008, e nella volta 0^m,006. La fiamma e l'aria calda dopo di aver lambito per di sotto l'incavo della caldaia, passa per il suo tubo M che la traversa entro la massa dell'acqua, si biparte ai due fianchi per adattati condotti C,C, sempre più bassi del livello dell'acqua che stà nella caldaia. Dessa nella dimensione indicata dalla figura è capace di produr vapore che serva ad una macchina di 33 cavalli. I condotti per il fumo, se sono di sezione troppo grande l'aria calda ne percorre solamente la sommità, e si ha una perdita nella superficie di riscaldamento. Alcune sbarre di ferro si oppongono alla deformazione, essendo questa forma di non moltà stabilità; e vi si contano otto aperture la prima P detta la buca dell'uomo che serve per pulire l'interno, la seconda G per l'acqua d'alimentazione ove il tubo giunge fin verso il fondo, la terza I con collare stoppato per la verga del galleggiante che indica il livello dell'acqua, la quarta O porta il tubo della presa del vapore, la quinta R riceve il tubo che serve a vuotare la caldaia, la sesta D e settima B stabiliscono la comunicazione dell'acqua e del vapore con il tubo indicatore del livello dell'acqua, e l'ultima F porta la valvula di sicurezza. Molte di queste aperture sono anche nelle altre caldaie, e si possono ritrovare per la corrispondenza delle lettere (Tav. IV fig. 7). La colonna G d'alimentazione ha un galleggiante di ferro che può all'occorrenza aprire l'egresso all'acqua, e circa alla metà di questa colonna esiste una comunicazione con un tubo che può portare l'acqua calda che proviene dalla condensazione del vapore. L'orifizio d'egresso del vapore accenna una valvula, la quale interessa per il caso che sieno più caldaie contemporaneamente in azione, onde il vapore abbia in tutte egual tensione, e su quel condotto si trovano le valvule di sicurezza. Queste caldaie richiedono 6^k di carbon fossile in un ora per ogni caval vapore del loro potere.

135. *Caldaia cilindrica a fuoco nell'interno.* — Moltissime differenze esistono nelle caldaie circa la disposizione del fuoco, così nella precedente si trova spesso mancante il tubo centrale, ed in quelle cilindriche spesso (Tav. IV fig. 7) il fuoco si usa solamente di sotto e alle parti. La fig. 3 Tav. X rappresenta la sezione di una caldaia cilindrica incavata con altro cilindro nell'interno di diametro assai minore, e tutto al di sotto del livello dell'acqua. In questo cilindro interno à il focolare, la graticola e ove si pone il combustibile lo divide per metà e la parte superiore si tiene chiusa all'esterno onde l'aria passi dall'altra parte sotto la graticola. Al di là della graticola è limitato il conerio e la fiamma incontra un gradino di muro. Il tubo interno serve poi come condotto all'aria calda, il qual condotto si continua tornando in avanti sotto alla caldaia, e poi ripiegandosi alle sue due parti laterali e portandosi al cammino. Caldaie così costruite servono in Cornoval per macchine ad alta pressione e a semplice effetto: hanno 7 piedi inglesi di diametro e 36 di lunghezza: la grossezza della lastra è 0,7 di pollice, ed il diametro nell'interno di 4 piedi. Questa forma può servire per media e per alta pressione.

136. *Caldaia ad alta pressione di Woolf.* Tali generatori di vapore ad

alta pressione consistono nella caldaia A propriamente detta in forma di cilindro terminato da callotte sferiche (Tav. X fig. 5), ed hanno in G, G′ due bollitori, o cilindri che comunicano colla caldaia e restano involti nella fiamma. Onde possano mutarsi questi bollitori quando il fuoco li ha consumati, e per non aver bisogno di guastare tutto il focolare, suol costruirsi una volta B al di sotto dei bollitori. E poichè quasi tutti i depositi si riuniscono in questi è necessario per nettarli di averli prolungati fin fuori del fornello ed ivi serrati con chiusini di ferro. Alcuni sostegni q, q reggono l'estremità dei bollitori: il livello dell'acqua è indicato dal galleggiante che nell'innalzarsi ed abbassarsi muove un indice: in P è l'apertura dell'uomo; in G il tubo d'alimentazione: K lastre fusibili, F valvule di sicurezza: O presa del vapore. Le caldaie a bollitori son preferibili a molte altre, richiedendo soli 5k di carbon fossile per ogni cavallo in un'ora. Presentano molta economia sotto il rapporto del combustibile, giacchè la fiamma investendo di sotto i cilindri, passa poi l'aria calda, a cagione dell'intermedio *s* murato, sopra l'uno di essi e ritorna per sopra l'altro al cammino. Spesso avvi un ripiano murato subito sopra i bollitori, e due muramenti dividono in tre parti lo spazio che è tra i bollitori e la caldaia per modo che l'aria calda è costretta a tornar sul davanti per la parte centrale, e ripassa divisa in due porzioni per le parti laterali per arrivare al cammino.

157. *Caldaie a compartimenti, e tubulari*. — Studiata la disposizione per aumentare la superficie di riscaldamento nella caldaia son venuti ad imaginare particolari costruzioni per il caso che si voglia molta produzione di vapore, e non prema tanta economia di combustibile come nel caso delle locomotive e dei battelli a vapore. Le caldaie dei battelli a vapore inglesi più comuni sogliono essere a bassa pressione fatte di lastra di rame e con molti compartimenti nell'interno per i quali circola la fiamma e l'aria calda. Tali sono quelle dei battelli *Rollon*, *Madagascar*, *Heva* che consumano per ogni ora 5k,25 circa di carbon fossile per ogni caval vapore, e son del potere di oltre cento cavalli. Si usano pure per i battelli caldaie ad alta pressione che sono riunioni di più generatori di vapore ciascuno munito dei due bollitori, e quella del *Picardo* si compone di tre generatori, consuma soli 4k7 per ora e per cavallo.

Le caldaie tubulari (Tav. XI fig. 1) usate nei battelli a vapore consistono in un cilindro orizzontale che racchiude un gran numero di tubi orizzontali di ferro, o di rame i quali vengono traversati simultaneamente dall'aria bruciata. Le congiunzioni di questi col fondo della caldaia son talvolta fatte a collari stoppati che vengono preservati dall'azione del fuoco per mezzo d'acqua. Altre volte le estremità più vicine al fuoco restan sempre a tal distanza da non ricevere che una debol parte di calor raggiante. Nei tubi di rame Mamby ha tenuto il diametro di pollici 2,5.

Le caldaie delle locomotive devono presentare poco volume, poco peso e piccola altezza nel cammino: onde è stato necessario di disporre la superficie di riscaldamento in modo che il raffreddamento dell'aria bruciata fosse il più rapido. Quindi in esse si usa una forza aspirante artificiale nel cammino che costringa l'aria calda a passare per un grandissimo numero

di stretti tubi, e il focolare si circonda di acqua. Simili caldaie tubolari son pure usate per le macchine a vapore fisse, ma io ne tratterò discorrendo delle locomotive. Qui basti rilevare la differenza fra quelle che presentano dei cilindri bollitori contornati dal fuoco, quelle che hanno compartimenti per i quali nell'interno circola del fuoco, e quelli che con costruzione opposta alle prime hanno cilindri percorsi dal fuoco che attraversano la massa dell'acqua. I raggi calorifici investono normalmente la superficie concava dei tubi, e mentre rimane alla caldaia molta stabilità, viene con quelli accresciuta la superficie di riscaldamento al massimo grado potendo disporli a molta vicinanza l'uno dall'altro.

138. *Superficie di riscaldamento.*- Si indica con tal nome quella porzione della superficie della caldaia che è direttamente esposta al fuoco. Essa è presso a poco la metà della superficie totale della caldaia a bassa pressione di Watt, ed un poco più in quella di Woolf con i cilindri bollitori.

Una di quest'ultime caldaie per l'esperienze di Clement lascia passare per ogni metro quadrato di superficie di riscaldamento da 20000 a 25000 unità di calore per ora. Un kil. di vapore richiede circa 650 di queste unità, perciò un metro quadrato di quella superficie darà da

$$\frac{20000}{650} = 30^k \text{ a } \frac{25000}{650} = 38^k$$

di vapore per ora. Una caldaia in lamiera di Watt si conta che dia circa 36. kil. di vapore per metro. Nelle caldaie dei battelli a vapore si suol distinguere la superficie orizzontale di riscaldamento da quella verticale; e alla prima li si attribuisce da 15^k a 20^k di vapore per ora mentre alla seconda le se ne attribuisce circa la metà.

Nelle piccole caldaie sferiche ben disposte un metro di superficie di riscaldamento produce 18^k di vapore. La caldaia di Lemare a fuoco interno nel suo tratto orizzontale, ed a stretti condotti per il fumo nei suoi tratti verticali, che è quasi il prodigio della bene intesa disposizione del fuoco, per ogni metro di superficie di riscaldamento richiedeva 2^k di carbone producendo quasi 20^k di vapore. Può dirsi che questa caldaia abbia il doppio di superficie di riscaldamento delle caldaie fisse ordinarie, giacchè in esse si valuta questa superficie a cinque kil. di vapore per uno di carbone.

È resultato dalle esperienze fatte sulle caldaie delle locomotive, separando il vapore generato dalle faccie del focolare da quello generato dai tubi, che a superficie eguale i tubi producono tre volte meno di vapore che le faccie esposte al fuoco. Onde per ottenere nelle caldaie tubolari la superficie di riscaldamento dopo avere computata la superficie che circonda il fuoco dovrà porsi un terzo di quella che appartiene ai tubi. Chi valutasse anche tutta la superficie dei tubi vi troverebbe sempre una ragguagliata produzione di vapore assai superiore a quella che si ha da altre caldaie, e nelle locomotive sarebbe di circa 60^k di vapore in un ora per ogni metro quadrato di superficie di riscaldamento. Una caldaia di locomotiva che abbia $3^{mq},4$ di superficie di focolare e $26^{mq},2$ di superficie di tubi si dirà che ha $12^{mq},2$ di superficie di riscaldamento, ma il potere produttivo dovrà per ogni metro quadrato valutarsi almeno 120^k di vapore per ora.

L'esser determinato il vapore che

si produce per ogni metro quadrato di superficie di riscaldamento in ciascuna specie di caldaia fa che anche per ogni metro di questa superficie occorra una certa quantità di carbone ed una certa estensione nelle griglie (63). Così nelle caldaie dei battelli ben regolate suole aversi un consumo di 4^k di carbon fossile per metro quadrato all'ora.

159. *Dimensioni nelle caldaie. — Volume dell'acqua e del vapore.* — La richiesta dell'erogazione del vapore stabilisce le dimensioni della caldaia. Nella caldaia sia A la parte della capacità destinata per il vapore, ed a il volume del vapore introdotto nella macchina a ciascuna corsa dello stantuffo. Avremo che a è eguale al volume cilindrico che è stato dallo stantuffo percorso mentre il vapore vi entrava in pieno, stando cioè aperta la comunicazione colla caldaia. Se la corsa dello stantuffo seguita anche quando la comunicazione colla caldaia è stata chiusa si ha un'espansione nel vapore di già entrato nella macchina, e può indicarsi con na il volume cilindrico totale percorso dallo stantuffo in una corsa. La frazione del tempo totale della corsa durante la quale sta aperto il foro d'ingresso del vapore sarà

$$\frac{1}{n}. \text{ Ed } \frac{a}{n}$$

ci rappresenterà la porzione del vapore che in quella frazione di tempo è stato generato nella caldaia alla tensione costante p. Laonde nel momento in cui cessa d'introdursi il vapore entro la macchina, nella caldaia rimarrà un volume di vapore

$$A - a + \frac{a}{n}$$

sotto la pressione p che dovendo riempiere la capacità A si muterà questa pressione in

$$p' = p\,\frac{A - a + \frac{a}{n}}{A}$$

Ora vogliasi che la differenza tra le due pressioni p, p' non sia maggiore di $^1/_{20}\, p$ avremo

$$p - p' = p - p\,\frac{A - a + \frac{a}{n}}{A} = \frac{ap}{A}\left(1 - \frac{1}{n}\right) = \frac{1}{20}p$$

cioè
$$A = 20.\, a\left(1 - \frac{1}{n}\right)$$

Se non si ha espansione resulta $A = o$: infatti in questo caso il vapore che si forma vien supposto esser precisamente eguale a quello che sfugge. Tredgold suggerisce anche in questo caso di prendere $A = 3a$ per non temere che col vapore passi nella macchina dell'acqua, e per aver riguardo alle irregolarità del fuoco. Se l'espansione ha luogo per $^1/_4$ del volume della corsa totale dello stantuffo, come nella macchina di Woolf, avremo $n=4$, $A = {}^3/_4 .\, 20.\, a = 15.a$, cioè undici volte circa il volume percorso dallo stantuffo nella corsa totale. Si pone A ordinariamente tra otto e dieci volte questo volume.

Il livello dell'acqua nelle caldaie deve mantenersi al di sopra dei condotti della fiamma, ed è bene che la caldaia abbia un volume di acqua tra la metà, e sei decimi del suo volume.

Per la macchina di Watt adoprando la relativa caldaia occorre il vapore a 105°, e si rileva l'acqua dal condensatore a 40.° Il peso del combustibile che occorre per un kil. di vapore è

$$\frac{550 + 105 - 40}{3500} = 0^k,17$$

e perciò un kil. di carbone fossile darà circa 6^k di vapore. Questa macchina consuma per un cavallo 6 kil. di carbon fossile in un'ora, e tal combustibile produce $6.6 = 36.^k$ di va-

pore, e tal massa di vapore richiede presso a poco un metro quadrato di superficie di riscaldamento. Lo che corrisponde a $0^{mq},12$ di griglie, e $0^{mq},04$ di sezione di cammino.

Una macchina di Wolf che lavora a tre ovvero a quattro atm. ha il vapore a 145° e supporrò che riceva l'acqua a 12°. Il peso del combustibile che occorre per un kil. di vapore è

$$\frac{550+145-12}{3500}=0^{k},19$$

per cui un kil. di carbone darà a fatica 6^{k} di vapore. Un cavallo richiede 3^{k} di carbone per ora, e questo combustibile produrrà $3.6=18^{k}$ di vapore.

Queste regole darebbero un *minimum* di estensione corrispondente alla perfetta trasmissibilità di calorico per le pareti della caldaia, e si sogliono nella costruzione allontanare da esse ritenendo per le caldaie a bollitori che la superficie di riscaldamento corrisponda a $1^{m},70$ per cavallo e richieda 5^{k} di carbon fossile per cavallo in un'ora, e 5^{k} di vapore per un kil. di carbone. In tal modo la superficie di riscaldamento corrisponde solo a 15^{k} di vapore per metro quadrato e per ora. Ed una caldaia di 20 cavalli si suol fare lunga circa sette metri con diametro nel gran cilindro di $0^{m},85$ e nei bollitori di $0^{m},50$, ed in lastra di ferro grossa dieci millimetri. Da quest'esempio comprendasi come nella pratica si suole abbondare in tutte le dimensioni.

140. *Prova delle caldaie: depositi: e cagioni d'esplosioni delle medesime.* — La prova è necessaria per conoscere le fughe che potrebbe presentare il vapore alla richiesta tensione, e per conoscere se il metallo anche munito della conveniente grossezza ha in qualche punto imperfezioni. Sogliomsi le prove fare a freddo comprimendo con una tromba dell'acqua nella caldaia di già piena. Tale dovrebbe essere la pressione da cimentare la caldaia per lo meno quale deve farsi durante l'uso della medesima. E poichè coll'uso essa si deteriora, e elevandosene la temperatura col fuoco se ne scema la coesione, suole la prova spingersi fino ad una pressione cinque o per lo meno tre volte più forte di quella che la caldaia ha da sopportare pel vapore.

Contuttociò i difetti che si manifestano sotto una pressione continuata per lungo tempo male si scoprono nella pressione di prova. Inoltre le fughe del vapore si fanno sempre più copiose perchè nei luoghi ove han principiato facendosi un'ossidazione del metallo viene a dilatarsi l'apertura. Il fuoco e gli urti consumano la parete della caldaia all'esterno, ed anche lo zolfo o altra sostanza capace di attaccare chimicamente il metallo, la quale si svolga dal combustibile. I sali, e sostanze acide che posson depositarsi dalle acque son pur cagioni di deterioramento della caldaia. I depositi dell'acqua sono anche nocivi perchè non essendo conduttori del calorico permettono che la parete esposta al fuoco si scaldi a più elevata temperatura di quello che si richiederebbe dalla vaporazione. Questi depositi aderiscono molto alla superficie interna, e quando per una causa qualunque se ne distaccano dopochè è grandemente scaldata la parete, l'acqua venendo con questa a contatto può esser cagione di un'esplosione. Le patate, il campeggio, e

meglio l'argilla plastica si usano per impedire l'aderenza e la compattezza dei depositi. Nelle caldaie dei bastimenti ove si usa l'acqua marina, di tempo in tempo per evitare i troppo grandi depositi conviene togliere il liquido, e Vilson ha pensato di effettuare il rinnuovamento dell'acqua in modo continuo, ed ha profittato del calor dell'acqua tolta per scaldare quella di alimentazione.

Nel pericolo della rottura esiste una gran differenza tra la caldaia di rame e quella di ferro giacchè la prima si apre, e la seconda scoppia. E per non avere l'esplosione tanto facile sono state in alcuni luoghi proibite le caldaie di ferro fuso. Sempre sono terribili le conseguenze dell'esplosione di una caldaia a vapore, ed è accaduto che in una caldaia di ferro saltò la cupola che pesava più di 20 quintali, e andò a cadere a 250^{m} dal luogo da dove era partita: altra volta saltò mezza caldaia di peso 140 quintali ad un'altezza verticale di 70 piedi inglesi, e ad una distanza di 150 piedi ec. E le cagioni delle esplosioni possono bene esser diverse 1.° per un sopracarico posto alla valvula di sicurezza, 2.° per un accrescimento troppo grande di evaporazione accaduto nell'aprirsi delle valvule di sicurezza, o nell'aprire un rubinetto, 3.° per essere scemata la coesione del metallo in occasione che si è elevata moltissimo la temperatura di esso, 4.° per esser mancata l'acqua di alimentazione. Sono modi di evitare queste esplosioni il nettare spesso la caldaia, l'uso dei manometri, delle valvule di sicurezza, e delle lastre fusibili, dei riscontri del livello dell'acqua, e di ciascuno di questi soggetti terremo discorso fra non molto.

Apparecchi che si uniscono alle caldaje.

141. *Regime d'alimentazione di acqua e di fuoco alla caldaia.* — Poichè i calcoli ci fan conoscere quant'acqua occorra per ottenere un determinato volume di vapore (13) ad una certa tensione, riman facile sapere quant'acqua deve somministrarsi in un dato tempo alla caldaia che produca quel vapore, onde nel suo interno si mantenga costante il livello.

L'alimentazione dell'acqua nella caldaia deve esser fatta quando si ha bassa pressione con un tubo di carica ove la pressione idrostatica vince la tensione del vapore. Nelle caldaie ad alta pressione si fa uso di una tromba aspirante e premente, la cui forza di cacciata deve superare la tensione che ha il vapore nella caldaia. La portata della tromba sarà anche eccedente all'acqua che si consuma nella erogazione del vapore, perchè con un regolatore si ottiene che entri l'acqua nella caldaia soltanto all'occasione che vi occorra. Tale regolatore vedesi in A (Tav. X. fig. 5), ove il galleggiante che è sul livello dell'acqua può aprire il rubinetto del tubo di cacciata. Il luogo dove è portata l'acqua deve essere quello più esposto al fuoco, ed il più basso, quindi vedesi il tubo C (Tav. X. fig. 4) che giunge alla parte più bassa della caldaia.

Egualmente può calcolarsi per un determinato volume di vapore ottenuto da una nota caldaia quanto è il combustibile occorrente, ed il sorvegliatore del fuoco dovrà colla massima regolarità possibile somministrare quel peso del combustibile e disporlo con uniformità sulla graticola (66). La superficie di questa, la forza d'aspirazione del cammino, e l'al-

tezza dello strato del combustibile devono esser convenienti, e tutti questi dati devono variare al variare della natura del combustibile (62 *e segg.*) Una buona pratica stabilirà le più sane regole particolarmente sull'introduzione sul fuoco dell'aria d'alimentazione, essendo la troppa abbondanza di questa, uno dei principali motivi per la gran perdita del calorico, e del non agire l'aria bruciata al suo passaggio nei condotti, se non che pochissimo a confronto dell'azione diretta del calore raggiante.

142. *Indicatori del livello.* — Il grand' interesse che avvi per mantener tra certi limiti la posizione del livello dell'acqua ha fatto ritrovare più apparecchi adattati a mostrarne le variazioni, e ciascuna caldaia porta il suo. Il più antico è quello a due rubinetti, uno posto al di sopra del livello dal qual deve sempre nell'atto del riscontro escire vapore, e l'altro posto più basso del livello che deve sempre lasciare escir l'acqua se apresi il rubinetto. Ed è riguardato come poco preciso giacchè produce nell'aprirsi del rubinetto una diminuzione di pressione (126) nel luogo ove capita il tubo per cui ivi ha luogo tale alterazione di livello da fare escire l'acqua dal rubinetto anche quando effettivamente il livello ivi non giungesse. L'apparecchio a tubi comunicanti è migliore: consiste in un tubo (Tav. IV. fig. 7) di vetro verticale, che ha le sue estremità D B terminate in guarniture metalliche, munite di rubinetto, ed una di queste lo pone in comunicazione colla parte della caldaia ove deve sempre rimanere l'acqua, la seconda in comunicazione colla parte superiore ove è il vapore. Spesso nell'interno si fa un recinto con lamiera traforata all'oggetto di scemare le oscillazioni del livello dell'acqua. In questo apparecchio da livello d'acqua il Sig. Hoyau ha aggiunto un'allargamento nella guarnitura metallica inferiore, ed in quello ha posta una sfera metallica che nel caso della rottura del cristallo chiude l'apertura da dove escirebbe l'acqua, ed in ogni evento frena le oscillazioni. Dirò in terzo luogo dell'apparecchio a galleggiante, il più semplice dei quali vedesi nella fig. 7. Tav. IV. ove il galleggiante in pietra è in parte sostenuto da un contrappeso con fischio. Un'altro galleggiante col fischio detto d'allarme (Tav. XI. fig. 1) si compone di una leva ABC ove mentre il livello è inalzato il globo A vien spinto in alto dall'acqua, ed appoggia il cono *a* contro il foro che corrisponde al fischio. All'incontro si abbassa mentre scema l'acqua nella caldaia, lascia aperto il foro *a* ed il vapore introducendosi a guisa di lama anulare tra il margine del girello *cc*, e del contrapposto orlo del sostegno urta contro il labbro della campanella che sta sopra, e fischia avvisando della mancanza dell'acqua.

143. *Manometri.* — È troppo utile che il sorvegliatore del fuoco possa sapere continuamente a qual grado si trova la tensione del vapore per risparmiare combustibile, e per prevenire qualche sinistro accidente che potesse derivare dalla troppa forza di quello. Conviene pertanto che un manometro tenuto in comunicazione colla caldaia somministri tale indicazione, ed i manometri sono a mercurio che si usano per le basse pressioni, ad aria compressa, e a solidi. Ben si sa come nei tubi comunicanti la pressione di un liquido può contrabbilanciare quella di un fluido aeriforme, ed indicarla col sollevamento che pren-

de il liquido. Ed io ho descritto il principio d'azione dei manometri ad aria compressa (*Introduz.* 46), onde senza ritornare ora su quei principj mostrerò le forme più convenienti per l'uso nelle caldaie a vapore.

La fig. 2 Tav. XI mostra un manometro per le basse pressioni formato da un tubo cilindrico di ferro ricurvo, contenente del mercurio nella parte più bassa. Un'estremità comunica col vapore, e l'altra è aperta ed ha un'asta che sporge fuori del tubo unita ad un cilindro di legno galleggiante sul mercurio. La tensione del vapore tien sollevato il mercurio in ragione di $0^m,76$ per ogni atmosfera. Abbassandolo in una branca lo solleva altrettanto nell'altra, cioè di $0^m,38$ per un'atmosfera, ed egualmente solleva l'asta che percorre una conveniente divisione. Qualche piccolo errore può aversi quando nella branca ove agisce il vapore si ferma dell'acqua, e per sapere apprezzarne l'effetto alcuni usano di mantenerla sempre piena d'acqua coll'adattarvi un vaso pieno di acqua di assai maggior diametro.

Rappresentasi nella fig. 3. Tav. XI. un manometro ad aria ad alta pressione, il mercurio è chiuso in una cassa di ferro fuso che ha un tubo, pur di ferro a guisa di pozzetto nel quale fin verso il fondo immerge un tubo di cristallo contenente l'aria e chiuso alla parte superiore, e fermato a tenuta di vapore nella sommità della cassa di ferro. Un qualche piccolo errore si commette nella graduazione a motivo dell'abbassamento del livello del mercurio nella cassa. Ed un difetto maggiore si ha in questi manometri per la diminuzione che soffre la massa dell'aria all'ossidarsi del mercurio. Ancor la temperatura dell'aria dovrebbe a rigore esser tenuta in calcolo, e potrebbesi all'aria sostituire un'altro gas che non abbia azione chimica sul mercurio. Il punto a cui giunge il mercurio nel condensar l'aria alla sommità del tubo indica, giusta la legge di Mariotte (2), la pressione del vapore in atmosfere. Per unire i tubi di vetro con quelli di metallo, come anche i pezzi di metallo tra loro, si rendono ambedue scabri, e poi con del mastice di biacca e minio intermedio a del piombo serrato a forza si toglie ogni passaggio al vapore.

Un manometro di solido metallo molto comodo è stato imaginato da Bourdon (Tav. XI. fig. 4). Consiste in un tubo di rame ABC curvo, fissato verso l'estremo A ad una piastra metallica ed in comunicazione col tubo che viene dalla caldaia, all'altra estremità C chiuso e sciolto dalla piastra come anche nel rimanente della sua curva, se non che mediante una verghetta metallica a cerniera si unisce con il prolungamento della lancetta D. Questa lancetta è imperniata sulla piastra e può percorrere colla sua punta una divisione E. Il tubo ricurvo ABC al crescere della tensione del vapore tende ad addirizzarsi, e fa muovere la lancetta lungo la divisione che indica la tensione. Ecco come ciò può accadere: La sezione del tubo non è circolare, ma presenta la figura di un'ellisse molto piatta (data in grandezza naturale in F) col diametro maggiore perpendicolare al piano della piastra. Onde il vapore fa gonfiare il tubo colla sua tensione e ne rende la sezione più prossima al cerchio, lo che non può farsi senza un corrispondente addirizzamen-

to nel tubo. L'elasticità del metallo fa poi ad esso riprendere la primitiva forma. Pure se è stata troppo permanente l'azione del vapore un poco può rimanere alterata, e questo costringe a dover riscontrare la fedeltà delle indicazioni di tempo in tempo.

Potrebbero usarsi anche i termometri per conoscere la tensione del vapore dacchè sappiamo che al *maximum* di densità è determinata la temperatura (11) del vapore per una data sua tensione. Meglio potranno indicare le piccole che le grandi tensioni mentre di poco in queste ultime cresce la temperatura all'aumentarsi della tensione.

Si vedòno anche riuniti come in un solo questi diversi apparecchi, e per darne un'esempio descrivo l'indicator di livello unito al manometro, ed al fischio d'allarme. Un tubo di cristallo MN (Tav. XI. fig. 11) indica l'altezza del livello dell'acqua comunicando coll'interno della caldaia con le due guarnizioni metalliche tubolari MN, e si apre in altro tubo cilindrico maggiore AB. Questo contiene in A uno stantuffo, ed in B una molla ad elastico, e mentre è il primo spinto in alto dalla tensione del vapore, la seconda vien compressa. Una fessura longitudinale guarnita di denti mette in moto la rotella dentata che sta dentrô alla medesima, ed essa sovra una mostra muove una lancetta che indica la tensione del vapore. Allorchè la tensione cresce di troppo lo stantuffo A si inalza oltre il foro laterale al qual corrisponde il fischio D, che dà il segnale al macchinista.

144. *Valvule di sicurezza. — Lastre fusibili.* — Sono tanto le valvule di sicurezza, quanto le lastre fusibili destinate ad impedire che il vapore possa prendere una troppo grande tensione. Circa la forma e la disposizione la valvula di sicurezza è mostrata (Tav. XI. fig. 5) in A collocata al posto, e munita della leva di secondo genere, che imperniata in C vi poggia sopra colla forza cagionata dall'effetto del peso B oltre a quello proprio. In D vedesi in più gran dimensione la valvula di faccia, con poco aggetto onde non aderisca troppo sul risedio suo, ed in E si scorge la sezione presa in quella porzione che si interna entro al cilindro dell'apertura. Si tratta di determinare il *minimum* di sezione che ha da avere la valvula, e il peso del quale può esser caricata.

Relativamente alla sezione di cui chiamerò d il diametro, indichiamo con S la superficie di riscaldamento in metri quadrati, e per n il numero delle atmosfere che corrisponde alla tensione del vapore, e con Π la densità di esso. Potendo ritenersi che 100^k sia il *maximum* di vapore che producesi in un'ora per ogni metro quadrato, dalla superficie S in un $1''$ si produrrà tutto al più di vapore $0^k,028.S$. Onde il volume del vapore ridotto a metri cubi sarà (13)

$$\frac{0,028.\,S}{\Pi}=\frac{0,028S(1+0,004t)}{0,7841.0,76.n}$$

La quale espressione deve combinare con la portata della valvula di sicurezza, che noi troveremo anche con la velocità dell'efflusso. Qusta velocità è (37. 8. 15)

$$v=395\sqrt{\frac{p\,(1+0,004.\,t\,)}{(\,P+p\,)\frac{0,7841}{1,709}}}$$

ove $p=0^m,76\,(n-1)$, e $P+p=0^m,76n$ perciò la portata (40) sarà

$$288,4d^2\sqrt{\frac{(n-1)(1+0,004t)}{n.0,46}}$$
$$=\frac{0,047.S(1+0,004t)}{n}$$

Onde il diametro della valvula, che ora esprime in centimetri dovrà essere per lo meno

$$d^2 = \frac{0,678.470.8\,(1+0,004t)}{288,4.\,n} \times \sqrt{\frac{n}{(n-1)}\,(+0,004t)}$$

cioè

$$d = 1,05 \sqrt[4]{\frac{S_2\,(1+0,004.t)}{n(n-1)}}$$

a questo conviene aggiungere tutta la sezione E della parte solida della valvula, e ritenendo che si ha sempre un *minimum* comprenderemo come dalle leggi francesi si richieda un diametro più grande determinandosi colla formula

$$d = 1,3 \sqrt{\frac{S}{n-0,412}}$$

Concludiamo per le cose dette che la sezione della valvula di sicurezza deve essere in ragion diretta della superficie di riscaldamento e presso a poco in ragione inversa della tensione del vapore. Quindi una valvula piccola per una certa tensione diviene giusta ad una tensione più elevata, e data la valvula resta determinato il limite che vi può prendere la tensione del vapore quando essa è tenuta aperta.

Rimane che prendiamo a fissare il peso il quale ha da aggravare la valvula. È evidente che la tensione cresce anche per effetto di questo peso, e realmente nelle formule sopra esposte invece di riguardare P come esprimente la sola atmosfera naturale, devesi porre eguale all'atmosfera naturale e più tante atmosfere che indico con n' quante ne può rappresentare il peso p' che aggrava la valvula repartito per tutta l'estensione di quella, che chiamerò s esprimendola in centimetri quadrati. Avremo

$$\frac{p'}{s} = n'.1^k,033, \text{ e } P = 0^m,76\left(1+\frac{p'}{s.1^k,033}\right)$$

il peso p' resulta dal peso p_1 effettivo che si applica alla leva moltiplicato per il rapporto che è tra il braccio r con cui la leva agisce sulla valvula, e quello con cui sostiene il peso effettivo, onde si ha

$$p' = \frac{p_1 r_1}{r}$$

e siccome facendo scorrere sulla leva il peso p_1 a guisa di romano si rende variabile r_1, così può farsi variare la tensione del vapore a misura che si aumenti questo braccio di leva del peso. La tensione del vapore non varia precisamente in proporzione del peso p_1 o del braccio di leva r_1: si avrà nel vapore una tensione *minimum* espressa dalla sopra riferita formula di P, ed una tensione *maximum* resultante dalla formula

$$d = 1,05 \sqrt[4]{\frac{S^2(1+0,004,t)}{n\left(n-1-\frac{p_1 r_1}{r.s.1^k,033}\right)}}$$

la quale, esprimendovi d con s, darà

$$n^2 - \left(1+\frac{p_1 r_1}{r.s.1,033}\right) n = 0,75\,\frac{S^2}{s^2}\,(1+0,004.t)$$

cioè

$$n = \left(1+\frac{p_1 r_1}{r.s.1,033}\right)\frac{1}{2} + \sqrt{\left(\left(\frac{1}{2}+\frac{p_1 r_1}{2.r.s.1,033}\right)^2 + 0,75\,\frac{S^2}{s^2}\left(1+0,004.t\right)\right)}$$

L'aumento però di n per passare al *maximum* non deve essere molto grande perchè il secondo termine sotto il radicale non può esser grande rapporto al primo.

Il modo di disporre il peso sulla valvula è stato studiato affinchè nessuno possa o maliziosamente o per accidentalità mutarne la situazione, e quindi si è soprapposto direttamen-

te alla valvula, e chiuso in una cassa forata. Si è usato nelle caldaie; (Tav. XI fig. 6), e si usa sempre nelle locomotive a cagione del moto, l'azione delle molle per produrre la pressione; lo che come vedremo in seguito fa unire il manometro alla valvula di sicurezza. Qualcuno ha per creduto utile di unire il fischio alla valvula.

Ma per avere il più sicuro indizio della eccessiva tensione si usano le lastre fusibili. Queste sono più o meno grosse, formate di tal lega metallica bismuto, piombo, e stagno la quale si fonde alla temperatura che non vuole sorpassarsi. Si collocano a chiudere un'apertura praticata sulla caldaia, ed il vapore le fonde lasciandone aperta l'apertura quando di troppo si scaldasse. Per legge francese devono usarsene due, una fusibile ad una temperatura di 10.° superiore a quella che corrisponde alla tensione del vapore che si adopra, e l'altra a temperatura superiore di 20.° a quella. Ecco una tavola per ottenere queste leghe.

tensione in atmosfere	temperatura di fusione	Proporzioni		
		bismuto	piombo	stagno
1	100	8	5	3
1,5	115	8	8	4
2	125	8	8	8
2,5	130	8	10	8
3	132	8	12	8
3,5	143	8	16	14
4	145	8	16	12
5	155	8	22	24
6	160	8	32	36
7	166	8	32	28
8	172	8	30	24

Il diametro dall'apertura B (Tav. XI fig. 6) coperta dalla lastra C dovrebbe essere almeno eguale a quello della valvula, la posizione deve essere molto prossima alla parete della caldaia B, e perchè non accada un'esplosione o rottura di tutta la lastra ad una temperatura inferiore, deve essere fermata da una grata D di ferro.

145. *Tubi di condotta del vapore.* — Conducesi il vapore dalle caldaie ove si genera al luogo ove si usa per tubi di ferro, o di rame che devono avere dimensioni sufficienti, e adottata resistenza. I fenomeni che han luogo nel movimento del vapore sono di condensazione di esso per la perdita di calorico che fa la superficie del tubo, di resistenze che scemano la velocità, di espansioni parziali del vapore, e di abbassamento nella sua temperatura. Senza tenere a calcolo il vapore che si è condensato, e trascurando l'espansione che potesse avere avuto luogo, si potrà dedurre la sua velocità dalle formule sopra riferite (48). E designando con V il volume del vapore che devesi erogare per 1″ ed r il raggio del tubo si avrà

$$V = \pi r^2 v$$

e tratto di qui il valore di v^2 per sostituirlo nella formula sopra citata avremo

$$\frac{V^2}{\pi^2 r^4} = \frac{2gkr}{r + gkL}$$

dalla quale equazione quando sia noto k può dedursi il valore di r prima con poca approssimazione supponendo che manchi r dal denominatore del secondo membro, e quindi con approssimazione maggiore ponendo in luogo di quella il valore trovato. Per i calcoli del Peclet può ritenersi k tra 0,0052 e 0,0040, e noi adottando un valor medio, avremo

$$r^5 = \frac{V^2(r+0,035L)}{193.A}$$

Vogliasi per esempio condurre 700^k di vapore per ora in un tubo di 15^m, la tensione del vapore nella caldaia, essendo di 3 atm. il volume del vapore da farsi passare per 1″ sarà

$$V = \frac{700.621,5}{3600-1000} = 0,12^{mc}$$

essendo 621,5 il volume (15) relativo di quel vapore. L'altezza dovuta alla velocità d'egresso dalla caldaia (57) sarà

$$A = 2.0,76.13,59.621,5 = 12838$$

dovendosi valutare due sole atmosfere perchè una contrabbilancia quella naturale. Per conseguenza avremo

$$r^5 = \frac{(0,12)^2(r+0,035.15)}{193.12838} = \frac{r+0,525}{172064861}$$

e per una prima approssimazione fatto $r=$ o nel secondo membro abbiamo $r=0^m,0217$. Il qual valore sostituito nel secondo membro si ottiene con maggiore approssimazione $r=0^m,0219$.

Riscaldamento dei liquidi a vapore.

146. *Generalità, e vantaggi di questo metodo di riscaldare.* — Attribuiscesi a Beniamino Thomson Conte di Rumford la scoperta di quest'uso del vapore, e si dieder cura di applicarlo Montegolfier, Clement, Desormes e altri, onde sempre divenne più interessante e più generale. Distingueremo il riscaldamento diretto, nel quale il vapore si mescola col liquido da scaldarsi, dal riscaldamento indiretto che si ha quando si impedisce il mescolarsi del vapore col liquido. Tutti gli apparati che devono produrre l'evaporazione de'liquidi pel riscaldamento a vapore sono composti 1.° di una caldaia a vapore ove si forma questo fluido con una tensione corrispondente di temperatura superiore da 15.° a 20.° a quella alla quale deve usarsi; 2.° di tubi per i quali ha da circolare il vapore costruiti in modo che ne resti totalmente espulsa l'aria giacchè questa anche in piccola quantità impedisce la trasmissione del calorico. Sempre vi è un tubo principale trasmissore del vapore dalla caldaia al luogo ove si fa il riscaldamento, il quale deve godere delle proprietà: di aver la superficie ben coperta da sostanze coibenti onde perda il minimo possibile di calorico: di essere con tal sezione da trasmettere tutto quel vapore che occorre: e di avere posizione simmetrica rapporto ai differenti luoghi che devono essere riscaldati. La forma e le dimensioni degli altri tubi è come diremo differente secondo che il riscaldamento del liquido segue direttamente o indirettamente. Suolesi il riscaldamento a vapore usare nelle tratture della seta, nei bagni, nelle tintorie, nelle cartiere, e in tutte quelle circostanze ove torna utile accendere un sol fuoco per riscaldare più caldaie. Oltre a questo molti altri vantaggi si hanno da tal riscaldamento, come ora son per notare. Lo sviluppo del vapore a bassa pressione non presenta alcun pericolo, ed il fuoco può tenersi a molta distanza dal luogo riscaldato essendo il vapore trasportato con tubi. Facile rimane regolare il fuoco unico in modo da ottenere economia, tanto più che le irregolarità nel fuoco convertendosi in temperatura nel vapore, questa poi riproduce corrispondente riscaldamento. Trattandosi di tintorie, o di filande, da seta può ben regolarsi il grado del riscaldamento da non temere alterazione nelle sostanze che han da sta-

re nell'acqua scaldata. Mentre che se il riscaldamento accade nelle caldajole separate ove si fa la lavorazione il fondo essendo esposto al fuoco si riscalda spesso di troppo, e fa bruciare le sostanze che vi son prossime. Ne è da trascurarsi la prontezza o la facilità con la quale si ha il riscaldamento a vapore. Nè tampoco il genere delle caldajole che possono ben' essere di legno, o di terra, e disposte come maggiormente fa comodo per la lavorazione. Contuttociò nelle piccole lavorazioni non corrispondono tali vantaggi alla spesa degli apparati occorrenti, e a quella di un sorvegliatore speciale del fuoco, e alle perdite del calorico fatte dai tubi del vapore.

Il riscaldamento ottenuto dal vapore libero o poco compresso vien pure usato per asciugare le tele di tessuti, e di carta, avvoltandole su cilindri di lamiera in rame, nell'interno dei quali arrivi il vapore. Ed in molti altri casi ben diversi come uno sarebbe nella lavorazione del ferro ove convien mantenerne la temperatura non troppo elevata.

Ritenuto che ciascun kil. di vapore somministri all'acqua da scaldarsi 550 calorie, se proponesi di scaldare 100 litri di acqua da 10° a 70°, ad ottenere il peso del vapore occorrente a 100° di temperatura, dovremo adottare la formula stabilita (16) per la condensazione del vapore, che è

$$\Pi = \Pi' \frac{t' - t''}{550 + t - t'}$$

ove dovrà farsi

$\Pi' = 100^k - \Pi$, $t'' = 10°$, $t' = 70°$, $t = 100°$

ed avremo

$$\Pi = (100 - \Pi)\frac{60}{580} \text{ ovvero } \Pi = \frac{100}{10,7} = 9^k,3$$

Non è sempre indeterminato il tempo: occorrendo di produr quel riscaldamento a cagion d'esempio per ogni dieci minuti, riterremo che la caldaia produca 20^k all'ora per metro quadrato di superficie di riscaldamento, ed avremo

$$\frac{9,3}{20 \times {}^1/_6} = 2^{mq},79$$

per la superficie di riscaldamento che deve avere la caldaia. E ritenuto che occorrano 4^k di carbon fossile per metro quadrato, abbisogneranno nel nostro caso $11,^k16$ di carbone per ogni ora.

147. *Riscaldamento diretto*. — Si preferisce di scaldar l'acqua coll'introdurvi direttamente il vapore tutte le volte che richiedesi il riscaldamento in molti recipienti, e non pregiudica la mescolanza della nuova acqua che viene dalla condensazione del vapore. Nell'esempio precedente per ottenere i 100 litri di acqua calda a 70° conviene porre nel vaso ove segue il riscaldamento solo $90^k,7$ di acqua, essendo gli altri $9^k,3$ somministrati dal vapore che si condensa. Che se in ogni dieci minuti, come si è sopra supposto si fa un tale aumento nella massa di acqua, ed altrettanta non se ne evapora si aumenterà oltre a cento litri il volume dell'acqua. Dal tubo principale trasmissore, il quale parte dalla caldaja diramansi i tubi secondari di minor diametro. Ognuno di questi fa capo a ciascuna caldaiola, e per aver riscaldamento uniforme non viene introdotto in questa che verso il fondo; nel suo tratto esterno ha un rubinetto che lascia passare o arresta il vapore a piacimento della persona che regola il riscaldamento: nell'interno il tubo forma un giro al fondo della caldaiola, ed in questo tratto porta piccoli fori che lascian passare il vapore. Fa duopo che il tubo secondario sia il più corto possi-

bile, perchè in esso si ha perdita di calorico e condensazione di vapore, la quale aumenta la massa dell'acqua più di quello che avevamo supposto.

Sia proposto di voler sapere quanto vapore occorrerà a mantenere venti caldaiole del diametro di $0^m,4$ a 70° di temperatura profonde 0,3 e murate. La superficie libera nelle 20 caldajole sarà per lo meno

$$\frac{11}{14}(0^m,4)^2.20 = 2^{mq},52$$

Dalla tavola sopra riportata (125) deduciamo che per ogni centimetro quadrato a 70° di temperatura in un giorno si evapora $1^k,845$, onde nel caso nostro avremo in un giorno per l'evaporazione la perdita di

$2,52.10000.1,845(550+70)=28826280$

unità di calorico. Dobbiamo inoltre aggiungere la perdita di calorico che fanno le caldaiole per il contatto dell'aria e degli altri corpi, e trascurato quello dell'aria poichè le suppongo cinte da muramento, riterrò per quello che stabilisce Peclet parlando di fornelli e condotti di aria bruciata a 500° chè la perdita di calorico per ogni metro quadrato di superficie interna per ora, e per la grossezza di muramento a mattoni

di $0^m,1$ $0^m,2$ $0^m,3$ $0^m,4$ $0^m,5$

sia 1936 1233 905 715 590

unità di calore e data la proporzione della differenza di temperatura col mezzo che ritengo a 10°, cioè tra 500-10 e 70-10, dovremo usare invece del numero secondo che io scelgo

$$490 : 60 :: 1233 : x = 151 \text{ circa}.$$

La superficie murata è

$$\frac{11}{14}0,4.20.0,3+2^{mq},52=4^{mq},41$$

e per conseguenza si può assumere questa perdita di calorico in un'ora per $4,41\times151=665,91$ unità. Laonde

$$\frac{28826280}{24}+665,91 = 1201761$$

saranno le unità di calorico perdute in un'ora, ed usando il vapore a 100°

$$\frac{1201761}{650} = 1839^k,6$$

sarà un *minimum* del vapore necessario, al quale dovrà aggiungersi tutto quello che si condensa prima che giunga alle caldaiole, tutto quello che si richiede per il raffreddamento dipendente dall'agitazione che soffre l'acqua nelle caldaiole, e per l'agitazione dell'aria la quale aumenta l'evaporazione, e il raffreddamento. Nei tubi destinati a portare il vapore che han grossezza $2^{mm},5$ il vapore condensato è $1^k,2$ per ciascun metro quadrato all'ora.

148. *Riscaldamento indiretto.* — Consiste nel fare arrivare il vapore in un serpentino *pq* (Tav. X fig. 6) che attraversa il liquido da scaldarsi. Il calcolo può cadere sulla temperatura che deve avere il vapore onde possa somministrare in un certo tempo un determinato numero di unità di calorico al liquido. I tubi calefattori fa duopo che sieno stretti onde non lascin passare troppo vapore. La celerità per un'atmosfera di pressione è 590^m circa al 1", e da un centimetro quadrato passano 59 metri cubi di vapore in 1" ed in un'ora 212400^{mc}, ovvero circa 1630^k di vapore. In questi tubi la superficie ha da essere sufficiente a condensare in un tempo dato quella quantità di vapore che può somministrare le richieste unità di calorico necessarie al riscaldamento. E riterremo che negli apparati piani ben disposti ciascun metro quadrato può condensare in un'ora 3^k di vapore per una differenza di temperatura di 1°, e che nei serpentini da 25^{mm} a 35^{mm} di diametro interno e di una lunghezza da 20^m a 30^m questa quanti-

tà cresce fino ad 8k. Laonde essendo nel primo caso 3×550=1650 e nel secondo 8×550=4400 calorie, diviso a seconda del genere dell'apparecchio per l'uno o per l'altro numero, quello totale delle calorie occorrenti al riscaldamento si ha in metri la superficie dei tubi calefattori, e se ne deduce poi la lunghezza dato che sia il diametro.

CAPITOLO VIII.

Delle Macchine a vapore.

149. *Cenni storici sulla scoperta delle Macchine a vapore.* — Poche scoperte ebber bisogno di un seguito così grande di ritrovati quanto la macchina a vapore per mostrare la loro utilità. Fino da Herone d'Alessandria si ha nell'eolipila l'impiego del vapore come forza motrice. Il globo metallico vuoto che formava l'eolipila imperniato sovra un diametro girava per reazione attorno a questo perchè il vapore, che dall'acqua interna posta in ebullizione svolgevasi, esciva da due tubi ricurvi posti all'estremità di altro diametro perpendicolare al primo. Nel 1615 usando un'eolipila faceva col vapore Salomone di Caus sollevar l'acqua in essa contenuta a guisa di fontana. Nel 1629 l'italiano Branca dava il primo l'idea di usare il vapore per un motore da destinarsi ad uso qualunque, facendone battere (Tav. XI. fig. 7) il getto di un eolipila A contro le pale di una ruota B. Nel 1663 il Marchese di Worcester migliorava per il sollevamento dell'acqua l'apparecchio di Salomone di Caus. Nel 1690 Papino dava pel primo l'idea di fare agire il vapore sopra uno stantuffo. E quando ebbe conosciuto la macchina che nel 1689 aveva il Savery imaginata per il sollevamento dell'acqua col fare agire il vapore formato in una caldaia sul livello dell'acqua contenuta in altro recipiente, pensò a perfezionarla con porre uno stantuffo galleggiante sul livello dell'acqua, e coll'usare l'acqua sollevata a mandare una ruota idraulica onde dal vapore si avesse un motore generale.

Tutti questi posson dirsi preparativi, e la scoperta della macchina a vapore sembrami possa fissarsi al 1705, quando il Newcomen ne presentò una che potè rendere alcuni servigi all'industria, e che sebbene imperfetta rappresenta la macchina a vapore a semplice effetto ordinariamente chiamata macchina atmosferica. In questa si vide agire il vapore entro un cilindro sollevarvi colla sua tensione lo stantuffo trasmettendo per l'asse di esso la sua azione sovra alla resistenza, mediante un bilanciere, e si vede la condensazione del vapore eseguita da un getto di acqua in mezzo alla sua massa entro al cilindro affinchè lo stantuffo tornasse a discendere per la pressione atmosferica. Una caldaia A (Tav. XI fig. 8) è destinata alla produzione del vapore in forma di emisfero con fondo piatto, e munita di valvula di sicurezza. Da questa passa per un tubo il vapore nel cilindro B, e vi solleva lo stantuffo C, che per una catena è attaccato al bilanciere D. All'oscillare del bilanciare si muove la spranga E, che pone in azione la tromba in una miniera. Dopochè lo stantuffo è inalzato le due ruote *a a'*,

collegate con una corda chiusa facendo una porzione di giro, quella *a* chiude con un rubinetto l'ingresso al vapore dalla caldaia nel cilindro, e l'altra *a'* fa entrare pure con un rubinetto uno spruzzo di acqua fredda nel cilindro che proviene dal serbatoio Z, e condensa il vapore. L'acqua condensante fluisce per il tubo *b* di scarica, ed il vuoto che rimane nel cilindro permette che lo stantuffo discenda premuto dall'atmosfera; mentre tornando a girare le ruote *a a'* in senso opposto ricomincia l'azione del vapore.

Determinata così la scoperta sul modo di fare agire la forza del vapore, rimaneva lo studio della composizione nella macchina, o l'invenzione degli organi ad essa necessari, e tutti i perfezionamenti che dan luogo alle diverse classi di macchine delle quali parleremo in appresso. Tali ritrovati hanno reso questo motore il più potente, giacchè può la forza aumentarsi col crescere la tensione del vapore elevandola ad un maggior numero di atmosfere, e col crescere la superficie dello stantuffo sulla quale la tensione si esercita. Lo han reso il più generale perchè non come l'acqua o il vento siam costretti di usarlo in certi luoghi, ma ovunque piaccia trasportare il combustibile necessario alla produzione del vapore: uno fra i più regolari nell'azione, potendo essere per questo requisito posto alla pari coll'acqua; e dirò un motore se non di eguale economia degli altri, certamente da quelli poco in ciò differente per gli studiati modi usati nell'utilizzare l'azione del vapore, e nel risparmiare il calorico in esso contenuto.

150. *Classazione delle macchine a vapore.* — La macchina che abbiamo qui sopra descritta vien detta *a semplice effetto* per l'agir del vapore sovra una sola parte dello stantuffo, e si dicono *a doppio effetto* quelle, ove il vapore, e non la pressione atmosferica, agendo anche al di sopra dello stantuffo lo fa abbassare.

Nella macchina atmosferica il vapore ha solo l'oggetto di vincere la pressione dell'atmosfera, e basta di poco sorpassi questa colla sua tensione, onde vien detta macchina *a bassa pressione*, e si designano con tal nome le macchine, finchè la tensione del vapore non arriva a due atmosfere. Allorchè giunge la tensione a tre atmosfere diconsi macchine *a media pressione*, e diconsi poi *ad alta* quando la tensione sorpassa le quattro atmosfere.

Riferendoci sempre alla macchina descritta, e supponendola a doppio effetto, noi vediamo che in quella a bassa pressione sarebbe impossibile ottenere il movimento dello stantuffo se non *colla condensazione* del vapore: ma avendosi una macchina a media pressione, può lo stantuffo essere spinto in basso dalla pressione del vapore, purchè al vapore che sta di sotto sia aperta una comunicazione coll'atmosfera. Infatti dal momento che il vapore comunica coll'aria atmosferica, la sua tensione si riduce ad un'atmosfera sola, e può lo stantuffo cacciarlo fuori dal cilindro colla pressione eccedente che soffre alla parte opposta. Sono le macchine ad alta pressione state ritrovate per agire *senza condensazione*, poichè è molte volte impossibile condensare il vapore per la mancanza dell'acqua necessaria.

Inoltre nella macchina di Neucomen rimane aperto il rubinetto di comunicazione, tra il cilindro e la caldaia, finchè lo stantuffo sia giunto

all'alto della sua corsa, e si dice che agisce *in pieno* rimanendo nel cilindro il vapore alla stessa tensione e alla stessa densità a cui esiste entro la caldaia. Se l'ingresso del vapore nel cilindro fosse impedito prima che lo stantuffo sia giunto al fine della corsa, quando fosse per esempio ai soli tre quarti di essa, farebbe agire il vapore *con espansione*, cioè premerebbe lo stantuffo dilatandosi, e, nel nostro supposto, riducendosi a tre quarti della densità e della tensione che aveva entro la caldaia. Quanto più è grande l'espansione del vapore, tanto più economia si ottiene nel combustibile, perchè si caccia nell'atmosfera il vapore che ha somministrato maggior parte della sua forza. Non però che si possa spingere l'espansione oltre a qualunque limite, perchè quando il vapore espanso non ha più tensione sufficiente a muovere lo stantuffo, diviene l'espansione nociva.

Altre distinzioni possono farsi circa alla forma della macchina, come *a cilindro verticale* ove il peso dello stantuffo è a carico dell'azione del vapore, *a cilindro orizzontale* ove è evitata questa diminuzione nella forza motrice. Macchine *ad uno o a due cilindri fissi*, e anche macchine *a cilindro oscillante*. Macchine *a moto alternativo* convertito esternamente in moto rotatorio, e *con conversione interna* a moto rotatorio. Macchine *a moto rotatorio* direttamente.

151. *Macchina di Watt a bassa, o a media pressione.* — Come ho accennato, all'oggetto di agire con maggior forza di vapore fu imaginata da Watt nel 1775 la macchina a doppio effetto, questa è senza dubbio il più studiato modello di macchine a vapore, ove si scorge un gran numero di organi meccanici nuovi, e disposti per maniera da ottenerne il massimo vantaggio, e una ben' intesa economia nella forza del vapore, e nel calorico. Il cilindro A (Tav. XII fig. 1, 2), il parallelogrammo (*Mecc.* 298) che mantiene l'asse C dello stantuffo per la verticale, l'eccentrico *ss*, il tiratore *k*, il regolatore R, il bilanciere FD collegato alla manovella KH, la disposizione PP'P" delle trombe, il condensatore *e*, e lo stantuffo B han da fermare l'attenzione dello studioso. La fig. 1 Tav. XII mostra la parte esterna della macchina, e la cassa NN ed il castello MM formano la montatura, mentre la fig. 2 Tav. XII ne fa vedere l'interno presentandone una sezione verticale. Il cilindro A è chiuso ad ambedue le estremità, e nel suo interno, si muove lo stantuffo B spingendo o tirando all'esterno la verga C, che passa a fregamento per un collare stoppato. È collegata la verga col parallelogrammo onde se ne mantenga nel movimento la verticalità, mentre il bilanciere FD oscilla attorno all'asse E, e l'estremità F tira o spinge la biella G che fa girare la manovella H, e l'asse K. Questo che forma l'asse motore della macchina, porta il volante L, e l'eccentrico SS, il quale col girare la leva *ul* (fig. 9 Tav. XI) è destinato a muovere il tiratore, e perciò ad aprire l'ingresso e l'escita al vapore, e ad aprire e chiudere egualmente il passaggio dell'acqua fredda nel condensatore. Nell'oscillare del bilanciere i tre tiranti PP"P' (Tav. XII fig. 2) si sollevano o si abbassano, ed il primo fa agire la tromba *tik* a doppio effetto chiusa, detta ad aria, che leva l'acqua e il vapore rimasto nel condensatore; il secondo quella *pmn* che è chiamata tromba alimentare perchè cac-

cia nella caldaia l'acqua *l* levata dal condensatore; il terzo fa agire la tromba *q* che solleva l'acqua fredda *r* ad una tale altezza, che possa da per se entrare nel condensatore ogni qual volta rimanga l'ingresso aperto. Il tiratore *k* agisce entro una capacità esterna fissa *daa'* (Tav. XII fig. 3) la quale vien chiamata la cassa del vapore, ove il vapore giunge dalla caldaia. Esso consiste secondo la disposizione di questa macchina in un condotto metallico *oo* che pone in comunicazione la parte superiore colla inferiore della cassa a vapore, separandone la parte intermedia con pezzi a giusto fregamento in *aa'*. Quindi la capacità esterna che circonda il tiratore fa comunicare il foro *b* d'ingresso del vapore della caldaia ed il foro che rimane alla sommità del cilindro quando è alzato, ovvero il foro che è al fondo del cilindro quando è abbassato, mentre l'altro foro per mezzo del tubo del tiratore, comunica coll'estremità inferiore *c* della cassa per dove esce il vapore. Si vede nella figura primieramente la posizione del tiratore in atto di fare entrare il vapore al fondo del cilindro, e poi la posizione opposta nell'atto che entra il vapore alla sommità di esso.

Il volante LL (fig. 2 Tav. XII) ha lo scopo (*Mecc.* 316) di rendere regolare il moto, e compensare l'effetto portato dalle differenti posizioni del gomito della manovella. Diverso è l'ufizio del regolatore R, chiamato dai pratici *governatore*, giacchè mentre anch'esso regolarizza il moto della macchina, non si occupa di renderlo eguale dal principio fino alla fine della corsa dello stantuffo, ma di farlo uniforme nelle successive corse moderando il vapore che esce dalla caldaia. A tale oggetto il regolatore è messo in moto dall'albero del volante con una corda senza fine *xx* che muove l'asse *g* per un'ingranamento ad angolo; e se la macchina va troppo celere i globi si inalzano (*Mecc.* 315) e dal suo collare vien girata la valvula a gola *b* per mezzo di verghe, che chiude in parte l'ingresso del vapore alla macchina. Viceversa se la macchina ha moto lento i globi si abbassano, e fan girare la detta valvula in direzione contraria introducendo maggior copia di vapore dalla caldaia nella macchina.

152. *Vantaggi della macchina a doppio effetto, e a condensazione, e lavoro della macchina di Watt.*— Finchè il vapore agisce sovra una sola parte dello stantuffo per avere come forza antagonista sull'altra parte la pressione dell'atmosfera, non può la tensione del vapore esser minore di quella dell'atmosfera, e neppure molto maggiore di essa: è molto limitato il grado di tensione che può darsi al vapore. Nelle macchine a doppio effetto ove è esclusa l'azione della pressione atmosferica, ed il vapore, ha per forza antagonista il il vapore stesso, a piacimento è permesso di variare la tensione del vapore, e siam certi che ambedue le forze agenti sulle due parti dello stantuffo, acquistano egual grado. La condensazione del vapore portata da Watt fuori del cilindro permette che si mantenga elevata la temperatura di questo, con notabile aumento di forza nella macchina, e con risparmio di vapore. Anche al giorno d'oggi sono in uso macchine a vapore a bassa o a media pressione, a doppio effetto con condensazione, e nelle quali il vapore agisce in pieno, e portano il nome dell'illustre inventore: esse si raccomandano per la regolarità del loro moto, e per la facilità

di mantenerle. E mentre richiedono moll'acqua fredda per la condensazione del vapore (16), danno

1.° Quasi il vuoto alla parte dello stantuffo, opposta a quelle su cui resta in azione il vapore, cioè una debolissima tensione di forse $^1/_4$ di atmosfera:

2.° Acqua per alimentare la caldaia scaldata a 40° circa a spese della temperatura del vapore che ha agito.

3.° La tensione di un'atmosfera e un quarto circa, come occorre nelle macchine a bassa pressione, non espone ad alcun rischio le caldaie.

Il lavoro del vapore si fa con forza motrice costante, e la sua misura si ottiene in ogni corsa dello stantuffo dal prodotto della lunghezza effettiva di questa corsa per la pressione totale che vi esercita il vapore, scemata di quella che soffre lo stantuffo sulla parte opposta al moto, e detratto il lavoro degli attriti. Chiamata T la tensione del vapore nella caldaia in atmosfere, S la superficie dello stantuffo in centimetri quadrati, ed L la corsa dello stantuffo in metri siccome la pressione di un'atmosfera per un centimetro quadrato è $1^k,033$, il lavoro del solo vapore immesso in pieno sarà $1^k,033.S\,T.L$. La resistenza che incontra lo stantuffo nel suo moto per effetto del vapore che ha da cacciare nel condensatore, sia per non essere ancora condensato tutto il vapore, o per l'aria che vi può esser frammista o per la strettezza dei fori o di altra cagione, nelle buone macchine ordinarie si eleva da $0^k,1$ a $0^k,2$ per ogni centimetro quadrato di superficie, ed indicata con T' questa contro-pressione in atmosfere il suo lavoro da sottrarsi dal precedente è $1^k,033.S.T'.L$. L'attrito dello stantuffo che frega colle pareti del cilindro, quello del suo asse che frega nel collare stoppato, e quello di tante altre parti della macchina che funzionano al muoversi dello stantuffo, come le pompe e il volante, nelle buone macchine di Watt da 10 a 12 cavalli, permettono che si utilizzino soli 0,53 del detto lavoro: in quelle da 30 a 50 cavalli lo riducono a 0,6 ed in quelle a 6 cavalli a soli 0,5.

L'acqua che fa il getto nel condensatore svolge dell'aria, che si valuta circa ad un ventesimo in volume. Favoriscono lo svolgimento del fluido elastico la temperatura, e la diminuita pressione che è in quello spazio. E tutta l'aria insiem con l'acqua, vuole essere tolta per mezzo di trombe dal recipiente condensatore. Si giudica nelle macchine di Watt la potenza che occorre per far manovrare le trombe ad $^1/_{20}$ ovvero $^1/_{15}$ di quella della macchina stessa.

Queste cifre sono dedotte dal calcolo e in genere confermate dall'esperienza, e siccome nei casi particolari variano, indicherò con K la frazione del lavoro che si utilizza. E la formula generale per il lavoro effettivo di una di queste macchine sarà

$$E = 1^k,033\,Kn\,(T - T')\,S.\,L^{km}$$

indicando con n il numero delle corse che lo stantuffo fa in 1'. La quantità di vapore impiegato in 1', sarà

$$n.S.L = \frac{E}{1,033(T-T')\,K}$$

cioè potrà dedursi dall'effetto utile, e dalla tensione del vapore, posto $K = 0,5$ circa, e $T' = {}^1/_4$. In appresso dedurremo il lavoro della macchina dal vapore e dal combustibile consumato; ora espresso in m. c. con V il volume SL del vapore che entra nel cilindro in una semplice corsa: rappresentate con p,p' le due tensioni per ogni cent. quad. cioè po-

nendo $1,033(T-T')=10000(p-p')$: e diviso per 60, e per 75 onde ridurre i km. di un minuto primo a cavalli; si ridurrà la formula precedente alla seguente, la quale esprime in cavalli la forza della macchina

$$E = 2,222\, K n p V\left(1 - \frac{p'}{p}\right).$$

E qui per far comprendere meglio le proporzioni di tali macchine a bassa pressione, riporterò la seguente tavola: ove non ho notato la pressione effettiva sullo stantuffo, che per le macchine piccole è qualche cosa meno di mezzo kil. per ogni cent. quad., e in quelle grandi è poco più; e neppure la celerità dello stantuffo, che per le macchine piccole è alquanto meno di un metro in 1″, e per quelle grandi lo supera di pochissimo

Forza in cavalli	*Diam. dello stant. in centimetri*	*Corsa dello stant. in centimetri*	*Num. dei colpi doppi per minuto*	*Vapore in m. c. per min. e per cav.*
1	15,2	51,0	50	0,924
4	29,5	76,1	34	0,923
8	40,4	106,7	27	0,922
12	49,0	131,9	24	0,920
16	55,3	137,1	22	0,900
20	61,0	152,3	22	0,895
24	66,3	169,5	20	0,885
28	71,0	169,5	18	0,872
32	74,9	182,8	17	0,858
36	79,0	182,8	17	0,851
40	82,5	198,7	16	0,850
45	87,2	198,7	16	0,846
50	91,4	213,3	15	0,841
60	99,6	228,5	14	0,832
70	107,3	243,8	13	0,818
80	114,3	243,8	13	0,817
90	120,8	259,0	12	0,786
100	127,0	259,0	12	0,785

153. ***Macchina di Wolf a due cilindri ad espansione*** — Si deve a Wolf l'aver posto a profitto l'espansione del vapore, e la sua macchina si compone di due cilindri B,C (Tav. XII fig. 4) che hanno diametri differenti; ambedue sono muniti di uno stantuffo, che porta un'asta passante fuori del cilindro coll'intermedio di un collare stoppato. Le due aste sono collegate invariabilmente fra di loro per cui si alza e si abbassa uno stantuffo quanto l'altro. La parte inferiore del cilindro più piccolo B comunica col mezzo di un condotto con quella superiore del cilindro C, e viceversa col mezzo dell'altro condotto la parte superiore del primo cilindro comunica con quella inferiore del secondo. Esistono colla parte superiore e inferiore del primo cilindro due comunicazioni colla caldaia A, come egualmente accade tra il secondo cilindro, e il condensatore D, e tutti questi condotti che sono al sopra e al sotto dei cilindri, si aprono e si chiudono alternativamente col mezzo di tiratori, come abbiam veduto nella macchina di Watt. Nel cilindro B il vapore agisce sempre in pieno, ed in quello C agisce per espansione nel modo che sono per indicare. Entri dalla caldaia il vapore sotto allo stantuffo B, solleverà questo, ed insieme sollevasi quello C, ed il vapore, che precedentemente era entrato sopra B, passa per il condotto che allora si trova aperto sotto allo stantuffo C. Siccome è maggiore lo stantuffo secondo C, questo li lascia più spazio di quello che li ha tolto con egual corsa lo stantuffo B, e per conseguenza il vapore si espande, e intanto il vapore espanso, che precedentemente si trovava sopra lo stantuffo C, passa nel con-

densatore D. Finito che hanno i due stantuffi la corsa in alto, chiudesi la comunicazione tra la caldaia, e il fondo del primo cilindro, ed apresi l'altra tra la caldaia e il sopra di quel cilindro, e nello stesso tempo chiudonsi tutti i condotti che dianzi erano percorsi dal vapore, ed apronsi quelli che erau chiusi. Il vapore dalla caldaia entra sopra lo stantuffo B e lo abbassa, quello che trovasi sotto a questo, passa sopra allo stantuffo C si espande e lo abbassa egualmente; e quello, che esisteva espanso sotto a B passa a condensarsi in D. Ed in tal modo seguitando il gioco continuano le corse simultanee dei due stantuffi, e l'asta comune E col suo moto alternativo agendo sovra un bilanciere, pone in movimento rotatorio l'asse del motore della macchina come si è veduto nella macchina di Watt. Si comprenderà l'accresciuta azione per il vapore espanso, osservando che il vapore si perde nel condensatore quando è dilatato, e perciò quando ha perduto porzione della sua tensione primitiva; e che il vapore espanso che comunica tra i due stantuffi B,C agisce in opposte direzioni tra di essi, e non darebbe nessun'effetto per essere i medesimi insieme collegati, se fossero di egual superficie; ma siccome lo stantuffo C ha maggior superficie di quello B, l'azione su quello prepondera per la differenza delle due superfici.

L'aprirsi e chiudersi delle rammentate comunicazioni, essendo simultaneo sempre in due fori di ciascun cilindro, come nella macchina descritta di Watt, può eseguirsi col mezzo di tiratori, ed è facile comprendere che ancora un solo rubinetto, posto all'incrociatura che i tubi, presentano tra B e C chiuderà un condotto mentre apre l'altro, e supplirà a' due tiratori. In questa macchina talvolta manca il condensatore, e allora, agendo essa ad alta pressione, vien cacciato il vapore direttamente nell'atmosfera, alternativamente dal sopra o dal sotto dello stantuffo C, dopo che ha subìta tutta l'espansione che porta la differenza tra il volume del cilindro B, e quello del cilindro C. Il più delle volte è però a media pressione ed il vapore vi ha la tensione da 3 a 4 atm. Quindi per il caso che l'azione segua colla condensazione, dobbiamo qui pure intendere unito il sistema di trombe di cui abbiam parlato nella macchina di Watt, mentre quando l'azione è senza condensatore, non occorre che la tromba alimentare della caldaia. In seguito tratteremo del modo di calcolare il lavoro del vapore espanso, il quale corrisponde ad un lavoro di una potenza variabile (*Introd.* 107), e qui noteremo che quando esiste il condensatore, la tensione che rimane al vapore dopo la condensazione è tutt'al più di $0^k,15$ per centim. quadrato, mentre allorchè non vi è condensatore li rimane pressione superiore a quella atmosferica cioè, per lo meno, di $1^k,033$ per centim. quadr., e sì l'una che l'altra di queste pressioni, danno un lavoro che scema l'azione della macchina. Le macchine di Wolf a due stantuffi motori, avendo una composizione più complicata di quella di Watt, hanno per K i seguenti valori più piccoli, cioè sono di maggior perdita nelle resistenze nocive, ed il lavoro del vapore si riduce per le macchine da cavalli

4 a 6 . . 0,35
10 a 20 . . 0,45
20 a 40 . . 0,50.

E per quanto si abbiano i due cilindri, e non si faccia un'aumento nella

corsa dello stantuffo per ottenere l'espansione, pure i buoni fabbricanti di tali macchine, non danno al vapore espansione maggiore di 4 a 5 volte il volume primitivo. È manifesto chè il limite dell'espansione utile sarà quando il lavoro del vapore espanso, eguaglia e non vince il lavoro delle resistenze nocive che alla macchina appartengono. Il vantaggio che presentano queste macchine a due cilindri, consiste nel risparmio del combustibile, richiedendovisi soltanto da 2,5 a 3,5 kil. di carbon fossile per un cavallo in un'ora.

154. *Macchina con espansione, ed un sol cilindro.* — L'espansione può ottenersi anche in un solo cilindro, e con la condensazione o senza. Noi colla mira di trattenerci sù macchine il più possibile differenti tra loro riterremo che si abbia una macchina senza condensazione, ed agisca il vapore ad alta pressione, vale a dire con tensione tra 6 a 10 atm. Queste macchine il più spesso sono riserbate alle locomotive dietro l'applicazione fattane da Trevithick. Pure Olivier Evans le introdusse tra i motori stazionari, e talvolta si trovano in azione anche per l'industria. Il vapore agisce nel cilindro per un certo tratto in pieno, e cessàto l'ingresso del vapore in esso prima che sia compita la gita dello stantuffo, si ha l'espansione per tutto il tratto che rimane a compier la corsa. Per il primo spaziétto piccolo che lo stantuffo avrà percorso senza che vi entri il vapore, sarà scemata di poco la tensione del vapore, essendo piccola l'espansione in esso accaduta; ma per i successivi piccoli spazietti si fa a gradi più grande l'espansione, ed a gradi decresce la pressione con cui il vapore agisce sullo stantuffo. Il lavoro del vapore non solo resulta dallo spazio che ha percorso lo stantuffo, mentre il vapore entrava in pieno, moltiplicato per la pressione sullo stantuffo dovuta alla tensione del vapore della caldaia, ma anche dai piccoli spazietti che successivamente percorre lo stantuffo, moltiplicati respettivamente per le pressioni che il vapore produce sullo stantuffo. Si comprende che dall'espansione non si ha il solo vantaggio di accrescere il lavoro del vapore, ma anche quello di regolare l'azione di queste macchine a moto rettilineo alternativo. Giacchè scemando la tensione del vapore a misura che lo stantuffo si avvicina al fine della corsa, non ha motivo di urtare esso contro il fondo della macchina, come potrebbe accadere se mantenesse il vapore sempre la sua totale tensione. Questo vantaggio rendesi maggiore quando le macchine non convertono il moto alternativo in rotatorio, come accade in quelle a semplice effetto e a bassa pressione, che sono in azione nella Contea di Cornovaglia, per sollevare col mezzo di trombe le acque dalle miniere.

E qui noi principieremo a studiare i tiratori con la scatola del vapore corta, per essere ravvicinate (Tav. XII fig. 5) le aperture *aa'* dei condotti che portano il vapore alla sommità e verso il fondo dello stantuffo. Facendo il cassetto del tiratore corto, cioè precisamente lungo quanto è la distanza tra l'estremità dei due fori d'ingresso del vapore nel cilindro, non si ha espansione perchè non stanno che per un istante chiusi ambedue i fori, ed entra il vapore da *b* per l'uno, escendo per l'altro da *c* nell'atmosfera, come mostrasi dalle frecce disegnate. Se il cassetto del tiratore si fa con la parte spianata alquanto più esteso come mostrano le

estremità punteggiate, allora si avrà l'espansione stando chiuso per un qualche tempo un foro, e l'altro in comunicazione col foro d'egresso *c*: la parte punteggiata vien chiamata l'accrescimento esteriore. La manovella che è guidata dall'asse dello stantuffo volge il suo gomito nella direzione di quest'asse, allorchè lo stantuffo è alla fine della corsa, allora si dice di avere nella macchina il punto morto se il vapore non ha ancora cominciato ad entrare tra lo stantuffo e l'estremità del cilindro ad esso più avvicinato; e l'eccentrico che muove il tiratore, avrebbe il raggio massimo o minimo allora nella direzione del gomito della manovella. Suole richiedersi che i detti raggi dell'eccentrico, facciano un angolo col gomito della manovella detto angolo d'avanzamento, ed in tal modo si ottiene l'ingresso del vapore un poco prima che abbia lo stantuffo terminata la corsa. Dà questo un qualche vantaggio, ma nello stesso tempo, conviene che l'angolo d'avanzamento sia piccolissimo, altrimenti agirebbe il vapore durante un certo tratto a contro pressione.

In queste macchine ad un sol cilindro a doppio effetto e ad espansione, si riduce il lavoro utile per l'accresciuta corsa dello stantuffo, minore di quello dato dalla formula che abbiamo assegnato per le macchine di Watt (152) cioè vi si farà $K=0{,}4$ ed anche $K=0{,}35$ nelle circostanze più svantaggiose per lo stabilimento della macchina. E quando sono nel sistema di Watt a media pressione, ben costruite, o ad alta pressione con espansione, consumano circa 5^k. di carbon fossile l'ora per caval-vapore. Vengono presso a poco allo stesso consumo anche quelle senza condensatore, non però quelle delle locomotive che consumano assai maggiormente, e in generale in gran parte questo consumo dipende dalla qualità della caldaia. (154, 156, 157, 158).

155. ***Del tiratore mosso da eccentrico, circolare, triangolare, e da espansione.*** — L'eccentrico circolare (Tav. XI fig. 9) di cui abbiam parlato nella macchina di Watt presenta il vantaggio della facilità di costruzione, e della stabilità: ma il moto quasi uniforme che produce non rimane per le macchine a vapore il piu conveniente. Esso muove il tiratore con eguale celerità in tutte le sue posizioni, e perciò lo manda lento quando dovrebbe aprire o chiudere i fori, e sollecito nelle altre posizioni: si evita in gran parte questo difetto col fare rettangolari le aperture dei fori, e strette nella direzione del moto del tiratore, ed allargate nell'altra direzione normale, o anche variando la forma e dimensione del cassetto del tiratore. E la variazione che ora ho descritto nel tiratore (154) per l'espansione detta alla *Clapeyron*, rende preferibile nelle macchine che han moto celere l'eccentrico circolare. Si possono ottenere due movimenti pronti interrotti da permanenze convenientemente prolungate, usando l'eccentrico triangolare (Tav. XIII fig. 7), il quale composto del triangolo isoscele A a lati curvilinei e imperniato verso il vertice, agisce in un'incavo rettangolare, e produce il moto celere quando contro quello puntano i vertici alla base del triangolo. Nell'espansione dovendosi considerare il cassetto del tiratore nelle quattro posizioni A, B, C, D (Tav. XII fig. 5), e trattenersi più nelle B, D che sono le posizioni di media corsa, che nel-

le altre A,C di corsa massima e minima, riesce adattato un' eccentrico (Tav. XIII fig. 6) chiamato ad espansione, e formato con una curva rientrante, la quale ha tutti i diametri eguali, e presenta quattro tratti m,n,p,q: i due n,m di minimo e di massimo allontanamento più corti, corrispondono all' azione in pieno del vapore, e gli altri q,p corrispondono all' espansione, e sono tanto più lunghi quanto l'espansione si vuol maggiore.

156. ***Principii relativi all' espansione dei gas, o del vapore; e lavoro meccanico ottenuto durante l' espansione***. Per quello che si è sopra accennato varia nell'espandersi la tensione del gas, ed il lavoro meccanico resulta dalli spazietti percorsi moltiplicati per le respettive tensioni (*Int.* 107). Nel mio discorso suppongo un gas e non il vapore per non pensare alla condensazione che potesse aver luogo, e per esporre ad un tempo una dottrina che serva alle macchine a vapore, e alle altre macchine di pneumatologia, come le armi a fuoco ove ha luogo l' espansione. Agisca il gas contro il piano MN (Tav. XIII fig. 1), che nella macchina a vapore ci rappresenterà lo stantuffo, e sia OI la lunghezza totale del cilindro, ed Oa la parte occupata primitivamente dal gas sotto una data tensione, che rappresentiamo con la normale aa'. Dividiamo aI in un certo numero di parti eguali ciascuna ad Oa, e siano b,c,d... i punti di divisione. Nel passare il piano MN successivamente in b,c,d... il gas prenderà volume doppio, triplo, quadruplo, ec. e per la legge di Mariotte la sua pressione contro il piano sarà ridotta ad $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$, ... di quella primitiva. Inalzate le perpendicolari bb', cc', dd' ec. sui punti di divisione lunghe proporzionalmente alle rammentate pressioni, si formerà la curva $a'b'c'd'$..., che resulta un iperbola equilatera, la cui proprietà fondamentale si è che il prodotto di ciascun' ordinata per la respettiva ascissa rimane costante. La superficie contenuta tra questa curva, la linea dalle ascisse e due ordinate, rappresenta il lavoro meccanico a resistenza variabile prodotto dall'elasticità del gas. Chi ne volesse la quadratura si può ritener data (*Intr.* 38) dalla semisomma delle ordinate prima ed ultima con più la somma delle ordinate intermedie, moltiplicato il tutto per la comun distanza tra un ordinata e l'altra. E da questa quadratura moltiplicata per $1^k,033$ e per la superficie dello stantuffo MN data in centim. quadrati, si ha il lavoro meccanico prodotto dal vapore o dal gas nell'espansione. Quando si volesse usare poche ordinate, cioè dividere l' intervallo aI in poche parti eguali sarebbe un' errore troppo sentito il quadrare la superficie col metodo sopra indicato, poichè quello porta a riguardare come un trapezio la figura compresa fra due successive ordinate, mentre è un trapezio mancante di una lunetta iperbolica.

Lavori una macchina a vapore a quattro atmosfere ed abbia un'espansione di sole quattro volte il volume primitivo. Sia la gita totale dello stantuffo $1^m,5$ e si intenda questa divisa in 8 parti eguali, cioè ciascuna di $0^m,1875$, il vapore cesserà di agire in pieno dopo due di queste parti, e per le altre sei agirà con espansione. Ciascun centimetro quadrato della superficie dello stantuffo quando l' azione è in pieno, soffrirà la pressione $1^k,033 . 4 = 4^k,132$. Il diametro dello stantuffo sia $0^m,8$, la sua superficie totale sarà 5028,56 centimetri

quadrati, e la pressione che sopporta pel vapore in pieno 20778^k. Onde il lavoro trasmesso all'asse dello stantuffo da questa pressione nelle due prime parti della corsa è $7791^{km},75$. Per ottener quello nelle altre 6 parti, avvertiamo la densità che prenderà il vapore alla fine di queste parti, e la pressione che secondo la legge del Mariotte vi soffrirà lo stantuffo. E queste sono

densità	$^2/_3$	$^2/_4$	$^2/_5$	$^2/_6$	$^2/_7$	$^2/_8$
pres.	13852	10389	8311	6926	5937	5195

Quindi per la regola sopra stabilita questo lavoro sarà

$$0^m,1875\left(\frac{20778+5195}{2}\right.$$

$$\left.+13852+10389+8511+6926+5937\right)$$

$=10950^{km},4$. Ed il lavoro totale trasmesso in una corsa dello stantuffo, sarebbe $18742^{km},15$ quando non vi si dovessero fare detrazioni, e per la contro pressione che soffre lo stantuffo e per le resistenze nocive.

157. *Lavoro delle macchine ad espansione colla condensazione e senza. Riflessioni ad esse relative.* - Quando vogliasi una regola più precisa di quella assegnata dall'andamento del calcolo numerico qui sopra seguito, converrà riquadrare l'area (Tav. XIII. fig. 1) $a\,a'\,d'\,d$, la quale appartenendo all'iperbola equilatera, che ha per equazione $xy=1$, otterremo per quadratura

$$\int y\,dx=\int\frac{dx}{x}=\log x$$

e perciò essendo qui l'ascissa x ultima rappresentata dalla total gita dello stantuffo, ed indicata con 1 la gita che aveva fatta lo stantuffo, mentre il vapore entrava in pieno: starà quella a questa, come il volume V′ del vapore espanso sta al volume V del vapore entrato in pieno, onde sarà

$$x=\frac{V'}{V}$$

Per conseguenza ritenuto per n il numero delle corse in un minuto, per m il numero delle atmosfere di tensione, e la misura in metri, sarà

$$1033\,nm\,V\left(\log\frac{V'}{V}+1\right)$$

il lavoro sviluppato dal vapore che agisce in pieno ed espanso sovra una faccia dello stantuffo. Quello che agisce sulla faccia opposta dello stantuffo indicando con T′ la tensione che vi resta al vapore sarà S L T′, e deve sottrarsi dal precedente. Per esporre anche questa formula in quantità corrispondenti a quelle usate per la macchina a bassa tensione noteremo oltre alle analogie che si sono (152) allora stabilite, che il logaritmo è iperbolico, e perciò per ridurlo ai tabulari deve moltiplicarsi per 2,303; che un coefficiente K deve adottarsi ancora qui per l'effetto delle resistenze nocive della macchina; e che si ha $1033mV=SLT_1$ essendo per la legge del Mariotte le tensioni in ragione inversa dei volumi, e perciò la tensione $1033\,m$ sovra un metro moltiplicata pel volume del vapore in pieno deve eguagliare la tensione T_1 che rimane dopo l'espansione nel volume espanso SL. Con queste considerazioni e col rappresentare per p_1 la pressione del vapore per ogni centimetro quadrato dopo l'espansione, e perciò $p_1V'=pV$, la formula precedente viene ridotta all'altra che assegna in cavalli la forza della macchina

$$E=2,222\,KnpV\left(1+2,303\log\frac{p}{p_1}-\frac{p}{p_1}\right)$$

ove K può ricevere i valori che si hanno nella seguente

TAVOLA

Forza della macchina in cavalli	*Valore di K per macchine in stato*		
	buono	ordinar.	
da 4 a 8	0,33	0,30	a Douai
10 20	0,42	0,35	„
20 40	0,50	0,42	Prony
30 40	0,49	0,39	a Corno-
40 50	0,57	0,46	vaglia
50 60	0,62	0,50	„
60 70	0,66	0,53	„
70 80	0,82	0,66	„
80 100	0,70	0,56	„

E la precedente formula serve tanto per le macchine ad espansione con un cilindro, quanto per quella a due cilindri, ed ancora per quelle senza condensazione, purchè si ponga 1,033 in luogo di p'.

Per mostrarne l'uso, prenderemo in primo luogo a confrontare il resultato che da essa si otterrebbe, con quello che si è avuto coll'altro metodo nel paragrafo precedente, e faremo $K=1$, $p'=o$, $n=1$, moltiplicheremo per 60 e per 75 onde riportare la formula a kilogrammetri, e sostituiremo i valori numerici ivi stabiliti. Onde ne verrà

$$E = 60.75.2,222.4.1,033.0,502856.0,375$$
$$\times (1+2,303.\ log.\ 4)$$
$$=7790,8(1+1,388)=18604,^{km}43$$

per ogni semplice corsa dello stantuffo. Dal calcolo precedente ne avevamo ottenuti $18742^{km},15$, e perciò scorgesi come quello fosse molto approssimato. Secondariamente proseguiremo il calcolo della forza della macchina in cavalli, ritenendo che lo stantuffo faccia 52 corse per minuto e prendendo $p'=0,^{k}103$ e $K=0,66$ per esser macchina molto forte e che riterrò in mediocre stato

$$E = 2,222.0,66.52.4.1,033.0,502856.$$
$$\times 0,375\left(1+2,303.\ log.\ 4-\frac{0,103}{1,033}\right)$$
$$=59,4(1+1,388-0,1)=129,97\text{cav.}$$

Le macchine con espansione e condensazione consumano circa $^1/_5$ meno di combustibile, di quelle a bassa pressione. Mentre le macchine con espansione e senza condensazione han bisogno di minor quantità d'acqua, richiedono più tensione di vapore per dare la medesima forza, e perciò più diligenza a mantenerle in buono stato.

158. ***Indicatore di Watt. Indicatore permanente, ed uso del freno di Prony.*** — Al medesimo scopo che il calcolo precedente conduce l'uso della macchinetta (Tav. XI. fig. 10) chiamata indicatore di Watt, con il vantaggio che questa mostra la differenza che può essere tra la tensione del vapore nella macchina in atto d'agire, e quella che ha nella caldaia, e respettivamente con i difetti che si hanno nei resultati sperimentali, in specie quando l'indicazione deve darsi con la massima sollecitudine. L'oggetto infatti di questa macchina, che io riporto veduta in altezza ed in sezione orizzontale proiettata, è di far disegnare una figura piana che rappresenti il lavoro meccanico del vapore, nel tempo che agisce per una corsa dello stantuffo. E dobbiamo perciò (*Intr.* 107) riconoscere che una tal figura ha le ascisse proporzionali alle celerità dello stantuffo, e le ordinate proporzionali alle corrispondenti tensioni, con cui il vapore preme lo stantuffo istesso. Avvitato sovra un foro che è alla parte superiore del cilindro della macchina a vapore l'altro cilindretto A, entra in questo il vapore e vi agisce sul piccolo

stantuffo che stà al suo interno spingendolo in alto, e comprimendo corrispondentemente alla sua tensione la molla a spirale, posta sopra allo stantuffo e attorno all'asse B. Questo asse è spinto infuori, e solleva un porta-lapis D, che tiene la punta del lapis sempre a contatto colla superficie convessa del tamburo E, ove deve esser disegnata la detta figura, la quale avrà perciò le ordinate proporzionali alla tensione del vapore. Una carta è tenuta stirata dalle due striscie metalliche che si vedono segnate sul tamburo E, e questo mentre lo stantuffo si inalza, vien fatto girare dal moto stesso dello stantuffo, lo che porta le ascisse della figura proporzionali agli spazi percorsi da quello. Per comunicare il moto al tamburo E una corda P, che è legata all'asta dello stantuffo della macchina a vapore, sta avvolta all'altro tamburo O, il quale ha l'asse comune col rocchetto N, ed il rocchetto riceve sulla sua superficie la corda M, che viene da una scanalatura fatta verso la base del tamburo E. Talmentechè tirata dall'asta dello stantuffo della macchina a vapore la corda P con la celerità che le è propria, gira il tamburo O, si avvolge la corda M al rocchetto N, e gira con velocità proporzionale il tamburo E. All'abbassarsi dell'asta dello stantuffo della macchina a vapore per l'azione di molle a chiocciola che sono nei tamburi E, O, ritornano indietro i pezzi, ed il lapis tanto nel moto in avanti, quanto in quello indietro segna sulla carta una curva che rientra in se stessa, e mostra colla parte superiore il lavoro del vapore nell'inalzarsi dello stantuffo. Dal quale si deduce il lavoro della macchina a vapore moltiplicando questo lavoro per il rapporto che è tra lo stantuffo dell'indicatore e quello della macchina, e per il numero delle corse che fa lo stantuffo in un secondo. La superficie di quella figura si ridurrà a kilogrammetri, confrontandola con un rettangolo che abbia per altezza lo spazio di cui si smuove il lapis quando si attacca un kil. alla campanella B, e che abbia per base lo spazio percorso dal lapis sulla carta quando si tira la corda P per un metro.

Conservato il principio del precedente formò non a guari il Prof. Moseley un indicatore permanente raccogliendo le tensioni del vapore al di sopra dello stantuffo, e quelle al di sotto nelle successive corse del medesimo, e senza disegnare la sopra rammentata figura piana, facendone segnare la quadratura col principio della macchina quadratrice (*Intr.* 28) del nostro chiarissimo Prof. Gonnella. Ha conseguito il primo intento con costruire la macchinetta a due cilindri, che comunicano uno col sopra, e l'altro col sotto dello stantuffo della macchina a vapore, e che trasmettono la pressione sofferta ad un medesimo asse. Inoltre ha infilato in un punto determinato di quest'asse una ruota che gira su quello senza che possa scorrere lungo il medesimo; i giri della quale comunicati per mezzo di convenienti ingranamenti, possono leggersi sopra una mostra, ed indicano il lavoro della macchina. E per conseguire questo secondo intento, ha fatto girare un cono con celerità corrispondente a quella dello stantuffo della macchina, ed ha tenuto l'apotema del cono parallelo all'asse della ruota, obbligando con una molla il cono a frega-

re contro la circonferenza della ruota stessa. In tal modo la ruota va più celere non solo a proporzione che si gira più sollecito il cono, cioè che si muove più celere lo stantuffo, ma anche a proporzione che più si allontana dall'apice del cono avanzandosi sulla sua superficie convessa, dovendo ivi percorrere circonferenze più ampie, cioè a misura che più è grande la pressione del vapore sullo stantuffo. Il moto dunque della ruota, o l'indicazione ottenuta sulla mostra, resultando in ogni istante dal prodotto di questi due elementi, assegnerà il domandato lavoro meccanico.

Questo lavoro indicato dalle due precedenti macchinette è lordo, cioè deve essere scemato dell'attrito delle parti della macchina, e non conosco che altra macchina tranne il freno dinamometrico del Baron Prony (*Mecc*. 86) si abbia per ottenere il lavoro utile delle macchine a vapore, il quale pure non è usabile che per macchine di moderata forza. Per averne più sicuri resultati si adatta a bella posta una ruota di ferro fissa all'albero motore, sulla quale ha da fregare il collare del freno: la superficie convessa di essa è assai larga e piana con due ribordi alle estremità, ed è formata in più parti chiuse con caviglie ai ribordi, onde possa montarsi e smontarsi facilmente: il freno è composto di una lunga leva che ha unita una porzione di collare di legno adattato alla ruota, ed in luogo dell'altra porzione contrapposta si usa una catena di ferro formata con lamiere incernierate fra loro, che sostengono contro la ruota dei pezzi disgiunti di collare di legno. Si serra il freno, e soppressa totalmente la resistenza utile, si fa ad essa supplire l'attrito del freno per modo, che la macchina si muova, mentre agisce il freno con quella stessa velocità che aveva quando vinceva la resistenza utile. Allora è chiaro che chiamata P la resultante tra il peso del freno e il peso aggiunto R, la distanza di essa dall'asse motore, ed n il numero delle doppie corse dello stantuffo in 1" sarà 2π R.P.n il lavoro che volevasi misurare.

159. *Della macchina a cilindro oscillante*. — Veduto che nella ben intesa composizione della macchina di Watt, e di Woolf si ottiene gran perdita per gli attriti che provengono dalla complicanza dei meccanismi, a due principalmente dobbiamo portare le nostre considerazioni: 1.° a quello che si usa per mantenere l'asse dello stantuffo nella direzione dell'asse del cilindro, e 2.° a quello che si usa per convertire il moto alternativo dello stantuffo in quello rotatorio dell'albero motore. Quí parlando del primo, richiamo alla memoria tutti quegli organi meccanici (*Mecc.* 298) differenti dal parallelogrammo di Watt che possono al medesimo oggetto usarsi, i quali sono sì svariati, che quasi ogni costruttore di macchine a vapore ne adopra uno diverso, perdendo precisione di effetto per aver maggior semplicità, o sottoponendosi a maggiori attriti per aver precisione d'effetto.

Il signor Cavè tolse il bisogno di questi meccanismi, e portò la maggior semplicizzazione, usando il cilindro A oscillante (Tav. XIII. fig. 2) su due orecchioni o pernj C, O posti alla metà della sua lunghezza, e lasciando che il cilindro coll'inclinarsi obbedisca alla direzione che prende il suo asse nel girare della manovella, o come i pratici dicono del caval-

lo M, sul quale direttamente l' asse si articola. La figura mostra la macchina veduta di faccia e di fianco. L'albero motore BB' posa sovra i due sostegni triangolari DD, porta in NN il volante, ed in EE la ruota per la cigna che trasmette il moto alla resistenza utile. I sostegni del cilindro son differenti da quelli dell'albero motore, ma egualmente fissati sulla base comune. Il vapore entra nella macchina dal tubo F, trova in S concentrica al perno O la scatola del vapore, e per questa va alla parte superiore o alla parte inferiore del cilindro, a seconda della posizione in cui esso si ritrova. Quando entra per la parte superiore lo stantuffo è abbassato, e quel vapore che era sotto lo stantuffo dal tubo G esce nell'atmosfera se la macchina è ad alta pressione. Alla macchina va unita la tromba alimentare della caldaja; in H vedesi il tubo d'aspirazione, in I il tubo di cacciata nella caldaja, ed in K un tubo di rifiuto pel caso che non vi sia bisogno di acqua nella caldaja, il quale con un robinetto si pone in comunicazione all'occorrenza col corpo di tromba, levando di comunicazione l'altro I. Il corpo di tromba L è a conserva d'aria, e a stantuffo metallico, e lo stantuffo è mosso dalla verga verticale Q mediante l' eccentrico P applicato all' albero motore B. Per comprendere come il vapore possa passare alternativamente al di sopra, e al di sotto dello stantuffo della macchina, sarà bene osservare lo spaccato (Tav. XIII. fig. 3) della scatola del vapore. Al centro di essa sta a giusto fregamento il pernio O del cilindro il quale ha due fori opposti p, q, uno che guida alla sommità del cilindro, e l'altro alla parte inferiore passando entro al pernio, ed entro ai condotti, che si vedono alla parte corrispondente del cilindro. La cassa del vapore è divisa in due parti mediante i due denti o tramezze m, n, quella superiore ove entra il vapore dal tubo F, e l'altra inferiore da cui il vapore esce pel tubo G. Il foro p che ho supposto guidare alla sommità del cilindro, mentre nella posizione della figura riceve il vapore, dopo un' oscillazione passa al di sotto del dente m, e l'altro q al di sopra del dente n, e allora il vapore entra per q sotto allo stantuffo, ed esce da p. Così coll'andare alternativamente i fori p, q sopra e sotto ai denti mn il vapore alternativamente nelle successive oscillazioni, entra ed esce sopra e sotto allo stantuffo, e la disposizione di questa scatola supplisce al tiratore che nelle altre macchine abbiamo descritto.

160. *Lavoro delle macchine fisse ad alta pressione senza espansione e senza condensazione, e riflessioni ad esse relative.* — Con discorso analogo a quello tenuto per la macchina di Watt, considerando che la contropressione sullo stantuffo in queste macchine è quella atmosferica, si giunge alla medesima formula mutato p' in 1,033, e perciò la forza in cavalli di queste macchine si esprime con

$$2{,}222\,K n p V \left(1 - \frac{1{,}033}{p}\right)$$

Le macchine di questo genere non hanno che la pompa alimentare, e sono d'ordinario mancanti del bilanciere, per cui può anche in quelle non oscillanti prendersi per K quando sono di forza minore di 10 cavalli 0,50, e quando sono della forza di 40 cavalli 0,70, e un valore intermedio per le forze intermedie,

ritennto che la macchina sia in buono stato, giacchè se lo stato è ordinario, si scemerà questo coefficiente di un decimo del suo valore. Queste macchine, di contro al minor costo e al minor peso e volume che presentano, hanno il difetto di consumare più combustibile, che spesso è tra 8 e 10 kil. di carbon fossile per cavallo all'ora; di richiedere più esattezza nella costruzione per evitare le fughe del vapore; e di dare maggior pericolo nelle esplosioni. Contuttociò credo utile fare intendere la disposizione di tali macchine riportando la seguente tavola, ove ho notati i diametri dello stantuffo per il caso che il vapore abbia quattro atmosfere di tensione, e quelli quando il vapore ha sei atm. di tensione.

Forza in cavalli	*Diam dello stantuff. in centimet. per 4 atm.*	*Diam. dello stantuff. in centimet. per 6 atm.*	*Corsa dello st. in centimetri*	*Num. dei colpi doppi per min.*
1	11,3	8,76	40	52,50
4	21,0	16,0	60	40,00
8	26,7	20,0	80	33,75
12	30,0	23,0	100	30,00
16	32,5	25,9	110	28,63
20	35,0	27,8	120	27,30
25	37,20	30,3	130	26,53
30	39,4	32,0	140	25,71
35	41,5	33,0	150	25,00
50	43,5	35,0	160	24,32
40	48,0	38,4	170	23,82
60	50,9	41,0	180	23,33
75	55,9	44,6	190	22,89
100	63,5	50,0	200	22,50

161. *Della macchina a disco.* — Fra le varie macchine che mostrano una conversione interna del moto rettilineo alternativo in moto rotatorio credo interessi conoscere la macchina di Bishop, che è con reputazione in uso in diverse lavorazioni; ed una escita dalla fabbrica del Rennie vedesi qui in Pisa impiegata nella fabbrica del signor Padreddi per la filatura del cotone. L'imbasamento della macchina in forma di telajo rettangolare M'M' (Tav. XIII. fig. 4) di ferro fuso sostiene l'asse motore FF con il volante NN, e con l'altra ruota a manovella MM, e sostiene fissato il tamburo P'P'PP, o cassa ove agisce il vapore, a fondi circolari incavati P'QR'RQP, PQRR'QP'. La figura presenta tutta la macchina veduta all'esterno di fianco, e le linee andanti ne mostrano i contorni esterni, mentre nelle linee punteggiate ho voluto indicare le parti interne; e della cassa ove agisce il vapore ho fatto anche altro disegno a parte con i pezzi interni in differente posizione. Entro a questa cassa al centro è una nocella R'RRR' sferica che riposa sui fondi, i quali ivi le presentano due cuscini sferici, e perciò muovesi in tutte le direzioni attorno al suo centro fisso che è centro pure del tamburo. Insieme colla nocella sferica si muove l'asse SS che esce fuori del tamburo, e tal movimento è dato dal vapore che agisce contro il disco AA concentrico alla sfera, e grande con precisione quanto è l'incavo interno del tamburo per cui ne frega sempre un cerchio nella superficie sferica interna P'P'PP. Questo disco AA, che è l'organo principale della macchina e rimpiazza lo stantuffo delle altre macchine a vapore descritte, ha il suo piano perpendicolare all'asse SS, onde mentre l'asse descrive un cono il disco è costretto descrivere il settore sferico P'R'RPPRR'P' for-

mato dall'incavo interno del tamburo. Sempre il disco AA si appoggia su due apotemi dei coni opposti P'R'RP, PRR'P' formati dall'interno dei fondi, e passando da un'apotema all'altro percorre nel movimento tutta la superficie convessa di questi coni. Si vedono nelle due figure della cassa due posizioni differenti del disco, e la seconda che volge all'osservatore un poco il piano del disco, mostra che quello è tagliato da una parte in BB fino alla nocella, e per il suo taglio a bordi rotondeggianti, passa con precisione un diaframma che traversa il settore sferico, ed è fissato ai fondi della cassa, chiudendo la sezione PRRE di quella. Quindi il disco nel suo movimento non gira, ma si alza e si abbassa in tutti i suoi punti alternativamente, come fa in quelli lungo il suo taglio BB che strisciano da un'estremo all'altro. Il diaframma PRRP. Per la posizione del disco il settore sferico interno della cassa, viene diviso in due parti eguali, e per il diaframma ognuna di queste parti è suddivisa in altre due capacità, una delle quali cresce quanto l'altro scema al movimento del disco, e dall'essere zero passa all'essere eguale al mezzo settore quando giunge al massimo di sua grandezza. In ciascuno dei due angoli P, P, della cassa sono due fori, uno alla parte anteriore e l'altro alla parte posteriore del diaframma PRRP. Ed a ciascun foro corrispondono le quattro capacità in cui è diviso il settore sferico, due delle quali, per il movimento del disco, sono crescenti ed in queste entra il vapore, e due sono calanti e da queste il vapore esce. Il vapore che entra nelle capacità piccole preme colla sua tensione il disco, e nell'aumentare la capacità ove entra, dà il movimento al disco; e siccome quelle capacità ove entra il vapore dopo esser cresciute al massimo devono decrescere, perciò un tiratore chiude l'ingresso, al vapore entrante, e permette che ne esca il vapore entrato ponendo quel foro respettivo in comunicazione col tubo di fuga del vapore, e levandolo dalla comunicazione col tubo di arrivo del vapore. Inteso come il vapore muove il disco, e come al muoversi di questo vien mosso l'asse SS, per comprendere che questo è costretto a prendere un movimento conico, basta riflettere che è connesso coll'estremo ad un punto del raggio della ruota MM che fa da manovella, e converte il movimento conico dell'asse in movimento circolare dell'albero motore FF. Ed il volante NN è necessario, forse non tanto per regolare il moto rotatorio, quanto per mantenerlo giacchè il vapore spingendo il disco, come genera il moto conico nell'asse SS, egualmente potrebbe generarvi un moto alternativo se non esistesse una celerità iniziale nella macchina per aiutare il primo movimento. Finchè dunque si vede la necessità nella macchina del volante, e l'effetto della manovella, non può dirsi di avere ottenuto direttamente dal vapore il moto rotatorio, e neppure di avere evitati gli inconvenienti della conversione del moto che per la massima parte consistono negli attriti, portati dagli organi che devono essere aggiunti come il volante.

162. *Macchina a vapore a moto rotatorio diretto.* — Essendo dai meccanici stato compreso per tempo il vantaggio che si sarebbe ottenuto dalle macchine a moto rotatorio,

si diedero essi tosto cura di imaginarne diverse, e che io sappia nessuna fino al presente ha sodisfatto, e può tuttora dirsi che pende la soluzione del problema delle macchine rotatorie. E quando sarà risoluto, potremo ritenere compita la invenzione della macchina a vapore, ritornando con un giro di scoperte interessantissime, ed estremamente utili all'industria a ricongiungersi col punto di partenza, giacchè una macchina a moto rotatorio era quella del Branca (Tav. XI fig. 7) che abbiamo designata come la prima che indicasse la potenza motrice del vapore.

Venne ancora a me vaghezza di tentare quest'argomento, e portando ad esecuzione le mie idee, feci costruire in una dimensione assai grande il modello di una macchina rotatoria che mi piace di chiamare *ruota a vapore*. I resultati che quella mi ha dati sotto l'azione del vapore, non ostante le imperfezioni della costruzione mi hanno assicurato di un qualche vantaggio nella sua disposizione, ed è per questo che io credo utile pubblicarne la descrizione, non senza fare qui qualche leggera correzione che l'esperienza mi ha suggerita. Nelle figure 8, 9, 10, 11 della Tavola XIII si può prendere idea della ruota a vapore, rappresentando la fig. 8 il prospetto esterno di fianco, la fig. 9 il prospetto esterno di faccia, la fig. 10 la macchina veduta di fianco, e spogliata del disco fisso esterno, e la fig. 11 la sezione della macchina ottenuta sulla linea media *y y* della fig. 9.

La ruota a vapore consiste in un basso cilindro A A collocato coll'asse orizzontale, e fissato al di sopra della base B B e fra i sostegni C C, entro al quale passa il vapore dal robinetto F. Entro al medesimo, ma non concentrico, è un'altro cilindro girevole sul suo asse V V, il quale forma l'albero motore della macchina, riposa sù due cuscini dei sostegni CC, ed esce al di fuori del cilindro fisso per mezzo di un collare stoppato. Il cilindro girevole ha otto nicchiette o incavi, e corrispondentemente a questi *a*, *a*, *a* è guarnito alla sua superficie convessa di otto (possono essere anche in maggior numero) pale *b b*... sovra esso incernierate, le quali aprendosi possono chiudere ad intervalli lo spazio che rimane tra le superfici curve dei due cilindri, e chiudendosi mentre il cilindro gira nelle direzioni delle frecce, passano a fregamento, e chiudono lo spazio fra i due cilindri presso l'ingresso del vapore nella macchina. Ciascuna di queste pale può essere studiata in grande nella fig. 12 che ne rappresenta la sezione fatta pel suo mezzo della larghezza; ivi si vede al di sotto in *e* un incavo che a guisa di piccol condotto lascia passare il vapore, anche quando la pala è abbassata, nella sottoposta nicchietta che sta sul convesso del cilindro; parimente si vede al di sopra della pala in *b'* il canaletto che raccoglie il vapore, e che fa continuazione all'altro *e'*, che rimane sul pezzo fissato al cilindro, dirigendo il fluido aeriforme per l'incavo *a'* sotto la pala consecutiva. La fig. 11 mostrando la sezione al mezzo della macchina fa vedere anche nelle pale tutti i canaletti e gli incavi; mentre la fig. 10 mostra le pale alla sua estremità, e perciò senza i condotti, e incavi. In quest'ultima figura vedesi la base del cilindro girevole che frega contro il disco fisso della macchina, e che per

ridurre l'attrito minore porta dei rilievi $c, c, c \ldots$ a costola ben spianati nella direzione dei raggi e rotondeggianti, che capitano al principio di ciascuna pala, e partono dal rilievo circolare centrale. Esistono inoltre dei tiranti traversi D, D . . . che collegano il sostegno destro col sinistro, e diverse viti che non solo fermano insieme le parti della macchina, ma anche alcune E E ... ed agiscono a pressione, permettendo di avvicinare i dischi al cilindro interno, a misura che si logora nei punti di fregamento. Entra il vapore per F ove è un condotto che può chiudersi con robinetto, e dopo avere attraversato la grossezza della piastra che frega sulle pale chiuse, incontra il condotto tracciato sulla pala corrispondente, e non potendosi dirigere che verso una parte, perchè dall'altra il condotto è chiuso dal giusto fregamento, entra nella nicchietta *a* sotto al principio della pala precedente, forza questa pala ad aprirsi e la spinge in avanti, ove sempre maggiormente si apre. Alla fine quando il vapore entrato in pieno, occupa lo spazio O, passando sotto l'apertura F la parte estrema della pala che è senza condotto, riman sospeso per un poco l'ingresso del vapore, e finchè non si presenta la pala successiva. Avanzandosi la pala il vapore va ad occupare lo spazio P il quale come maggiore di O permette un primo grado d'espansione. Continuando il giro delle pale successive il vapore entra sempre in O in pieno, si trova espanso in P, e maggiormente espanso in Q, e più ancora in R perchè questi spazi sono successivamente di maggior dimensione. Tutte le pale hanno sul loro davanti il vapore più denso, e meno denso sul loro dietro, e fan forza per girare il cilindro interno. Se dopo lo spazio R trovasi un tubo *p* di rifiuto del vapore nell'atmosfera, o nel condensatore, ivi si avrà respettivamente la sola pressione atmosferica, o il vuoto del condensatore, e respettivamente la macchina agirà ad alta pressione, o a media pressione. E poichè il vapore fa forza sovra ciascuna pala, per produrre il moto rotatorio sovra una superficie che è la proiezione della pala sulla direzione del raggio, ne viene che l'azione su tutte le pale accade come se esistesse una sola pala aperta al massimo; che alla parte posteriore avesse la sola pressione atmosferica, o respettivamente il vuoto del condensatore, e alla parte anteriore avesse vapore di tensione degradante dal vapore della caldaja fino a quello al massimo espanso, che per approssimazione può valutarsi a tensione uniforme eguale alla media delle due tensioni rammentate. Per ottenere dunque il lavoro della macchina conviene pertanto moltiplicare l'eccesso della tensione avanti alla pala sull'altra dietro di essa, per la proiezione della superficie della pala aperta al massimo sulla direzione del raggio, e per la celerità del suo punto di mezzo.

163. *Sulla teoria delle macchine a vapore: e confronto fra le macchine a moto alternativo e a moto rotatorio.* — Le formule che ho stabilite per determinare il lavoro meccanico, sebbene servono anche a dare la velocità della macchina, e le dimensioni, e quanto suole occorrere nella pratica più comune, pure non può dirsi che completino la teoria delle macchine a vapore, giacchè nel coefficiente K abbiamo incluso la valutazione di tante resistenze nocive, e di tante perdite di

forza che non di tutte è duopo farne dipendere il valore da resultati sperimentali.

Molte di esse provengono dall'azione degli organi meccanici che sono uniti alla macchina, come il regolatore, il parallelogrammo l'eccentrico il volante, le trombe, le resistenze nei condotti: e di queste la teoria si è già studiata (*Mecc.* 315. 298. 287. 316. *Idr.* 250 e segg.), e non conviene qui ripetere, e con quella si può dedurre quanto è il lavoro perduto nelle loro resistenze nocive, che in parte compone il valore di K. Ne daremo qualche esempio trattando delle locomotive; qui mi propongo soltanto di fare apprezzare la differenza che passa fra i diversi generi di macchine di cui ho data la descrizione.

Le macchine con cilindro fisso a moto alternativo hanno il parallelogrammo, o altro meccanismo che mantiene l'asse dello stantuffo per la medesima verticale, le che non può farsi senza notabili pressioni contro i perni delle differenti leve: hanno l'asse fregante nel collare stoppato, e per valutarne la resistenza può riguardarsi la superficie dello stantuffo aumentata di quella interna del collare stoppato: hanno la superficie convessa dello stantuffo, che frega contro la parete interna del cilindro con una pressione almeno eguale alla differenza delle due pressioni, che si fanno sulle due faccie dello stantuffo: hanno il tiratore: hanno il volante che porta sovra il suo asse un attrito considerabilissimo proporzionale al suo peso, e produce una perdita di lavoro meccanico pur grande, per la molta velocità che concepisce quando la macchina è in azione; e finalmente hanno una irregolarità necessaria nel movimento, che neppure il volante può del tutto togliere nell'albero motore, ma che più si rende manifesta con urti e scosse negli organi che rimangono intermedi, tra lo stantuffo e il volante.

Nelle macchine a cilindro oscillante, si evita soltanto quello che riguarda il parallelogrammo o altro analogo congegno, ed in parte anche il tiratore, ma son queste due resistenze fra le minori, ed anzi il tiratore offrendo altri vantaggi come la miglior tenuta del vapore, è usato anche in queste a preferenza dell'asse forato, da noi descritto (159).

Oltre al parallelogrammo nella macchina a disco sono evitate in gran parte quasi tutte le scosse, essendochè la conversione di movimento si fa sempre con uniformità, e non ha fasi diverse. Contuttociò il bisogno del volante, toglie una gran parte di superiorità che a questa macchina potrebbe attribuirsi; ed anche la complicanza di composizione interna; e la precisione che richiede nelle sue parti, devono renderla soggetta a frequenti restauri.

Alla macchina a moto rotatorio tolta del tutto la conversione del moto, tolta ogni complicanza di meccanismo esteriore, e perfino il volante, dovrebbe darsi la preferenza se gli attriti delle parti interne ove agisce il vapore, non sorpasseranno di troppo quello dello stantuffo. Fra questi attriti deve senza dubbio valutarsi anche quello cagionato dalla pressione, che il vapore produce sulla superficie convessa del cilindro mobile. Per render meno efficace questa pressione ho pensato che nella mia macchina fosse conveniente fare agire il vapore sulla porzione di periferia più bassa, cioè in FOPQR*p*, essendo così la re-

sultante della sua pressione diretta dal basso all'alto, e contrariata dal peso della macchina.

Forza dinamica del vapore e del combustibile che si usa per svolgerlo.

164. *Lavoro del vapore.* — Non si può dire di avere studiate le macchine a vapore se non abbiam compreso la forza dinamica di questo fluido aeriforme, indipendentemente dalla particolar costruzione della macchina, la quale può variare secondo le scoperte meccaniche che vi si faranno. Un metro cubo di vapore può premere sopra un metro di superficie, spingerla ad un metro di altezza; ovvero sopra a qualunque minor superficie purchè suppongasi che la spinga ad un' altezza tanto maggiore di un metro, quanto la superficie era minore di un metro quadrato, dovendosi nello spazio percorso dalla superficie impiegare un volume di un metro cubo. Dunque il lavoro meccanico di un metro cubo di vapore sarà dato dalla pressione fatta sulla superficie premuta moltiplicata per l' altezza a cui è spinta, e tornerà lo stesso che supporre un metro la superficie premuta, ed un metro l'altezza. E ritenendo che la tensione del vapore sia di un' atmosfera, la pressione sarà 10330^{k} che moltiplicata per 1^{m} si otterrà 10330^{km} per il lavoro di un metro cubo di vapore alla tensione di un' atmosfera. Se invece di un metro cubo si avrà un volume V di vapore in metri cubi, e alla tensione di T atmosfere, il suo lavoro sarà $E = 10330.TV^{km} = 10000\,p\,V^{km}$ ritenuto che p esprima la pressione che si fa sopra un centimetro di superficie.

Passiamo dal lavoro che somministra il vapore mantenuto sempre alla stessa densità, a quello che può aversi quando il vapore si espande; col ragionamento già da noi fatto altrove, (157) concluderemo che il lavoro dato dal vapore avanti e dopo l'espansione è dato dalla formula

$$E = 10000\,pV\left(1+2{,}303\,log\frac{V'}{V}\right)$$

ove V' esprime il volume del vapore dopo l'espansione. Ecco dunque la tavola, calcolata colla formula precedente, del lavoro che può dare un metro cubo di vapore espanso da zero fino a 6 a 10 volte il volume primitivo, e colla tensione di un' atmosfera. Da questa moltiplicando per il numero delle atmosfere e per il numero dei metri cubi di vapore che si hanno, dedurremo il lavoro di una qualsivoglia quantità di vapore sotto la tensione proposta

Vapore dopo l' espansione	*Lavoro maccanico in km.*	*Vapore dopo l' espansione*	*Lavoro meccanico in km.*
1^{mc},00	10330	5^{mc},75	23084
1,25	12635	4,00	24650
1,50	14518	4,25	25277
1,75	16111	4,50	25867
2,00	17490	4,75	26436
2,25	18769	5,00	26955
2,50	19795	5,25	27459
2,75	20780	5,50	27940
3,00	21679	5,75	28399
3,25	22506	6,00	28839
3,50	23271	10,00	34116

Conosciuto il lavoro di un metro cubo di vapore se ne può dedurre il lavoro delle diverse macchine quando si sa quanti metri cubi di vapore consumano. Converrà sottrarre il

lavoro della contro pressione sullo stantuffo, e ridurre questo lavoro nel rapporto in cui lo scemano le resistenze passive della macchina, la prima delle quali cose si fa collo scemare il termine fra le parentesi del rapporto fra le due pressioni a cui è esposto lo stantuffo, e la seconda coll'apporre alla formula il coefficiente K adattato alla macchina proposta. Onde la formula generale per avere il lavoro del vapore che si utilizza nella macchina sarà

$$E=10000K\,p\,V\left(1+2{,}303\,log\,\frac{p}{p_1}-\frac{p'}{p_1}\right)$$

la quale ha da ridursi, come si è sopra detto, a seconda che la macchina è a condensazione, o ad alta pressione, o ad espansione.

165. *Relazione tra il lavoro e il peso del vapore.* — Si è ora veduto che

$$\frac{E}{V}=10000\,p\left(1+2{,}303\,log\,\frac{V'}{V}\right)$$

è il lavoro di un metro cubo di vapore, e si sa (14) che

$$\Pi=\frac{0{,}7841\,p}{1+0{,}004t}$$

è il peso di un metro cubo di vapore, dunque quel lavoro appartiene al peso Π di vapore formato con la tensione p, e colla temperatura t corrispondente al massimo della densità. Ma

$$\Pi:\frac{E}{V}::1^k:x$$

perciò il lavoro di un kilogrammo di vapore è

$$x=\frac{E}{V\Pi}=12762{,}4\,(1+0{,}004t)\times$$
$$\left(1+2{,}303\,log\,\frac{V'}{V}\right)$$

Laonde data che sia la tensione del vapore se ne ottiene la temperatura (14), e con questa usando la formula se ne ha il lavoro. Per esempio si voglia sapere quanto è il lavoro di un kil. di vapore alla tensione di 3^k per centimetro quadrato, quando lavora con un espansione di 4 volte il volume primitivo. Si sa che avremo t=133,25, e la formula darà

$$x=12726{,}4\,(1+0{,}004.133{,}25)$$
$$(1+2.303\,log\,4)$$
$$=12762{,}4.1{,}533.2{,}3863=20448^{km}.$$

Siccome è più facile conoscere quanta è l'acqua consumata per formare il vapore necessario a tenere in azione la macchina, che sapere il volume del vapore che vi si impiega, parmi conveniente ancora qui indicare, che può dedursi una formula capace di dare il lavoro della macchina, purchè sia dato il peso del vapore che vi si usa, e purchè non si abbiano fughe di vapore. Al lavoro di un kil. di vapore dovranno farsi le due riduzioni delle quali abbiam detto al paragrafo precedente, e se ne avrà la formula

$$12726{,}4\,K\,(1+0{,}004\,t\,)\times$$
$$\left(1+2{,}303\,log\,\frac{p}{p_1}-\frac{p'}{p_1}\right)$$

166. *Maximum del lavoro di un kil. di un combustibile, e suo confronto con i lavori ottenuti nella pratica* — Non volendo supporre alcuna perdita da un kil. di buon carbone fossile. Si può ottenere (13. 17. 21).

$$\frac{7050}{550+t-t'}$$

kil. di vapore. Diviso questo peso per la densità Π del vapore, cioè per il suo peso in un volume di un metro cubico si avrà

$$\frac{7050}{\Pi(550+t-t')}$$

il volume del vapore ottenuto a t gradi centigradi. Chiamiamo k il lavoro che dà un metro cubo di vapore sotto la pressione atmosferica cioè di 1^k,033 per centim. quad. con una determinata espansione, il qua-

le è facile a determinarsi come si è detto di sopra. Per ottenere quello del nostro volume di vapore, rammentiamo che sotto una medesima espansione due differenti volumi primitivi di vapore con tensioni differenti, danno lavori che stanno come i prodotti delle tensioni nei rispettivi volumi. Perciò chiamato x il lavoro del nostro volume di vapore, e p la sua tensione avremo

$$x : k :: \frac{p \times 7050}{\Pi\,(550+t-t')} : 1 \times 1{,}033$$

ma si ha (13)

$$\Pi = \frac{0{,}81}{1+0{,}004.\ t} \times \frac{p}{1{,}033}$$

e perciò il lavoro prodotto da un kil. di vapore è

$$x = \frac{7050\ (1+0{,}004.t)}{0{,}81\,(550+t-t')}\,k$$

Questo valore, ove non entra più la tensione p del vapore, prova che non si ha un gran vantaggio ad aumentarla nelle caldaie; se l'espansione resta la stessa, cioè se non si ha condensazione di vapore, ed all'aumentare del numeratore colla tensione o temperatura t del vapore, corrisponde un poco men rapido aumento del denominatore. Mal dunque può sperarsi più lavoro dall'aumentare la tensione del vapore, perchè la produzione di esso si fa con più difficoltà. Inoltre si hanno a gran tensione più perdite di calore, e negli abbassamenti di temperatura, e nei residui che sfuggono alla combustione; più fughe di vapore per le diverse parti della macchina, e attorno allo stantuffo, e possiamo concludere che al di là di quattro atmosfere il vantaggio è quasi nullo. Applichiamo la formula ritenendo la tensione a 4 atm. e l'acqua che si immette nella caldaja a 40° come quella che si ha dal condensatore, e che la espansione sia spinta a 10 volte il volume primitivo. Una tensione di 4 atm. porta una temp. di 145°,4; ed in questa ipotesi si trova il lavoro $k = 34116$. La formula per conseguenza darà

$$x = \frac{7050\ (1+0{,}004.145{,}4)\ 34116}{0{,}81\ (550+145{,}4-40)} = 697672^{km}$$

per il maximum del lavoro di un kil. di combustibile.

Le migliori macchine di Woolf lavorano a 4 atm. ed hanno un'espansione di sole quattro volte il volume primitivo; il loro lavoro è di un caval vapore per $2^{k},50$ di combustibile all'ora, cioè di $3600.75 = 270000^{km}$ Dunque in queste macchine un kil. di combustibile darà

$$\frac{270000}{2{,}50} = 108000^{km}$$

cioè neppure il sesto del lavoro indicato di sopra. Ma in queste macchine si ha l'espansione a sole 4 volte il volume primitivo; rimane nel condensatore e al di sotto dello stantuffo per lo meno la tensione dovuta al vapore a 40° cioè di $0^{a},071$; si hanno resistenze, attriti, fughe ec. Concludiamo che coll'aumentare l'espansione, e il suo limite utile, e col diminuire le resistenze nocive si potrebbe avvicinare maggiormente al lavoro utile, e ciò io ho tentato di fare colla mia macchina a vapore a moto rotatorio. Concludiamo ancora che le macchine a vapore per quanto dieno resultati tanto sorprendenti, pure sono molto al di sotto di quelle idrauliche nel rapporto tra il lavoro utile, e il lavoro motore. È da avvertirsi che molto si disperde della forza nel solo focolare, e come si è già notato riducesi ivi alla metà, ed un solo terzo di questa metà ne vien riportato dalla macchina a vapore.

176. *Quantità di lavoro che nelle*

macchine a vapore può ottenersi da un kil. di combustibile. — Per le cose dette nel precedente paragrafo

$$\frac{1{,}7050\,(1+0{,}004\,t.)}{0{,}81\,(550+t-t')}\,10330$$

$$=44950995\frac{(1+0{,}004.t)}{(550+t-t')}$$

rappresenta il lavoro che potrebbe sperarsi dal vapore che non ha sofferto espansione in una macchina, che (se potesse esistere) non abbia resistenze che si oppongono all'azione del vapore. Per valutare le resistenze nocive sappiamo di dovere usare il coefficiente K, e per tener conto della contro pressione sullo stantuffo, si deve (152) scemare la pressione unitaria del rapporto che è tra la tensione p' che esiste nel condensatore o contro lo stantuffo, e l'altra p che lo fa muovere. Inoltre sappiamo (157) che quando il vapore si espande, accrescesi il suo lavoro della quantità espressa dall'aggiunta nell'ultimo fattore del termine

$$2{,}303\,log\,\frac{p}{p_1}$$

essendo p_1 la tensione che rimane al vapore espanso. Adunque la quantità di lavoro che in una macchina senza espansione è dovuta ad un kil. di buon carbon fossile, si esprime con la formula

$$44950995\,K\,\frac{1+0{,}004.t}{550+t-t'}\left(1-\frac{p'}{p}\right)^{km}.$$

il fattore dipendente dalla temperatura e rimane quasi costante al variare la tensione, e può darlisi il valor medio di 0,00222, onde la formula si semplicizza nell'altra

$$100000\,K\left(1-\frac{p'}{p}\right)^{km}$$

Per le macchine ad alta tensione si porrà $p'=1{,}033$.

E se la macchina agisce con espansione, la quantità di lavoro che è dovuta ad un kil. di buon carbon fossile, si esprimerà con la formula

$$44950995\,K\,\frac{1+0{,}004\,t}{550+t-t}$$

$$\left(1+2{,}303\,log\,\frac{p}{p_1}-\frac{p'}{p_2}\right)^{km}$$

alla quale, per la ragione ora detta, può sostituirsi l'altra

$$100000\,K\left(1+2{,}303\;log\,\frac{p}{p_1}-\frac{p'}{p_1}\right)^{km}$$

Da queste formule ne viene che ancora col mezzo del combustibile consumato, può aversi la misura del lavoro della macchina. È bene però avvertire che non deve essere male disposto il focolare, e che se il combustibile non è buon carbon fossile (houille) convien ridurre il numero che resulta nella proporzione della potenza calorifica, appartenente alla sostanza bruciata.

CAPITOLO IX.

Delle Locomotive a vapore.

167. *Cenni sulla storia delle locomotive.* — Dopochè Riccardo Trevithick ebbe pensato a fare agire le macchine a vapore senza condensazione, e con l'eccesso dell'elasticità del vapore sull'atmosfera, vennero i tentativi delle locomotive sulle strade ferrate che di già preesistevano. E nel 1804 i sigg. Vivian e Trevithick ne posero una in azione per rimorchiare più vagoni che erano tratti da cavalli; e venner poste sulle strade comuni, e nel 1822 si videro quelle di Griffith in Inghilterra e a Vienna. Si avevano false idee sull'adesione (*Mecc.*89) o sull'attrito di prima spe-

tile a confronto di quello di seconda e di terza specie, e per questo si complicarono inutilmente i meccanismi. Nel 1811 Blenkinsop usò una ruota dentata a ciascun lato della locomotiva che ingranava in cremagliere poste lungo le rotaie, e questo congegno fu più accreditato degli altri che li successero, col medesimo scopo di accrescere l'adesione. Frattanto fu perfezionata la costruzione della macchina nel comprendere il bisogno di usar due cilindri per il vapore onde ottenere regolarità di movimento. E nel 1814, intraprese esperienze dirette sull'adesione, cominciò a dilucidarsi la questione, non però talmente da assicurare i meccanici che la sola differenza dell'attrito di prima specie da quello di seconda e terza, era sufficiente su liscie verghe di ferro a dare assai adesione, onde la locomotiva traesse un treno molto pesante. Infatti dopo quest'epoca G. Stephenson fece una locomotiva nella quale era accresciuta l'adesione con uno sfregamento tra il ribordo delle ruote e la rotaia, e con una catena senza fine tra la macchina e il tender per approfittare anche dell'adesione delle ruote di quello. Seguitandosi però a migliorare le macchine col sopprimere gli ingranamenti, e colla forma della caldaia tubulare ritrovata nel 1828 da Seguin, nel 1829 fu stabilito il celebre concorso per le locomotive inservienti alla strada da Liverpool a Manchester, e la locomotiva presentata da Roberto Stephenson meritò preferenza sulle altre, abbenchè cinque macchine di buona costruzione fossero presentate. Questo abile costruttore non lasciò stazionare la costruzione delle locomotive, e nelle continue commissioni sempre maggiormente la perfezionò. Altre fabbriche ne produssero a gara, e con diversi principj emularono il premiato costruttore, e si vide sulla rammentata strada una macchina di Sharp e Roberts che percorse 25 leghe all'ora. L'applicazione dell'espansione variabile alla locomotiva fu fatta nel 1842. E dipoi cominciarono nuove ricerche per accrescere l'adesione delle locomotive, e gli studj sovra un diverso numero di ruote motrici e direttrici, e sovra le macchine articolate, atte a percorrere curve di minor raggio, e sovra le macchine molto potenti. Per questi due oggetti si distinsero le macchine americane: e veduto il vantaggio che a tal ramo di meccanica ne era venuto per il citato concorso, altro nel 1851 ne fu stabilito dal Governo Austriaco dal quale emersero le macchine usate a Semring, e principalmente quella recente del sig. Engerth.

168. *Descrizione della rapida.* — Ho scelto di descrivere questa locomotiva costruita per la strada di Versailles, attesochè della medesima esiste un confronto con le altre locomotive stampato da Mathias nel 1844 e posso con vantaggio degli studiosi, abbozzare brevemente quel confronto d'accordo colle dottrine del Pambour in quello che sarò per dire, aggiungendo qualche cosa delle più recenti riduzioni sulla composizione della locomotiva.

Distinguiamo il generatore del vapore dalla macchina propriamente detta. La caldaia è formata da un lungo cilindro B (Tav. XIV. fig. 1.2) terminato alle due estremità in due spazi rettangolari AC. Quello A, cassa del fuoco, comunica con i tubi F della caldaia che sono 134, contiene il fuoco, ed è circondato quasi per tutte le parti dall'acqua. L'al-

tro C chiamato cassa del fumo ha le opposte aperture dei tubi, ha il cilindro del cammino D che tira con energia la fiamma entro i tubi, ed ha i tubi E del rifiuto del vapore dai cilindri che coll' iniezione del vapore del cammino aumenta la sua aspirazione. Tutte le parti della caldaia che non restano direttamente esposte all'azione del fuoco, sono di ferro, quelle esposte a tale azione sono di rame; i tubi sono di ottone, come anche quelle parti che stanno in mostra. Il diametro del cilindro che compone la caldaia è un metro nell' interno, e la lunghezza $2^m,54$. La superficie è formata da tre lastre grosse $0^m,008$, e poste colla direzione del laminaggio perpendicolarmente all'asse del cilindro. Le lastre attestate vengono raggiunte da una striscia di lamiera lunga otto centimetri fermata con doppia fila di chiodi ribattuti a caldo. Le lastre dei fondi che ricevono i tubi han dei tiranti che si oppongono al loro allontanamento; e sono i tubi fissati con testa a vite vuota in acciaio fortemente chiusa contro madrevite di ferro. Il diametro interno di essi è 0^m04, e la loro grossezza $0^m,05$; e la distanza tra asse e asse di $0^m,06$. L'ultima fila è lontana $0^m,4$ dalla generatrice superiore della caldaia per lasciare spazio sufficiente al vapore; i primi tubi sono $0^m,07$ distánti dal fondo della caldaia per lasciare posto ai depositi; e i tubi estremi delle file non si avvicinano più di $0^m,035$ alla generatrice laterale della caldaia. Stephenson ha tenute quasi sempre le medesime dimensioni, meno che maggior lunghezza nella caldaia. Il cammino del fumo è terminato da una cesta di rete metallica che ferma le parti incandescenti di coke scagliate, e pel medesimo oggetto esiste nell' interno della cassa del fumo una lastra munita di moltissimi fori. Questo riparo alle materie incandescenti si usa anche in un modo più efficace, per cui battendo esse contro una superficie conica, vengono a ricadere entro ad una controfodera posta all' esterno del cammino. L'altezza del cammino è $1^m,08$, il diametro interno $0^m,35$, e il rapporto tra la sua sezione a quella delle griglie G (Tav. XIV fig. 3) è di 10.

L' apparato d' alimentazione della caldaia consiste in due pompe aspiranti e prementi *ii* disposte simmetricamente a ciascun lato della caldaia. Si compongono di un corpo di tromba di bronzo, munito con valvule a globo sferico con un diametro interno $0^m,045$ nel quale si muove un cilindro *n* di ferro fissato con l' intermedio di un manicotto all' asse *a* dello stantuffo motore corrispondente. Le due trombe possono somministrare circa quattro volte l'acqua che è consumata in vapore dai cilindri, agendo alla più gran pressione che è quattro atmosfere effettive. Onde due trombe sarebbero inutili se non fosse duopo considerare il caso della loro inazione. L' iniezione dell' acqua vien fatta verso il mezzo *s* del cilindro della caldaia in prossimità delle generatrici inferiori. Con più accorgimento Stephenson e anche Jackson fan l' iniezione in vicinanza della cassa del fumo, e poco al di sotto del livello costante dell'acqua, ribassando così la temperatura del fumo con risparmio di combustibile. Pel caso che occorra alimentare la caldaia senza il moto della locomotiva, esiste una tromba P verticale aspirante e premente sulla piattaforma, da

manovrarsi dal macchinista stesso. Col mezzo di tubi l' (fig. 1, 2) che hanno un ginocchio per togliere la total rigidità, e che all'annestatura permettono la visita della valvula d'aspirazione, è unita ciascuna tromba al *tender* ove sta la cassa dell'acqua.

A far conoscere la tensione del vapore esistono sulla caldaia due valvule di sicurezza Q,Q', una presso la cassa del fuoco facilmente dominata dal macchinista, e l'altra sulla cupola che raccoglie il vapore, mostra la tensione del vapore che va si cilindri della macchina. Differiscono ambedue da quelle delle macchine fisse per la molla che tien luogo del peso: si compongono di un disco di bronzo conico, munito di una verga che entra in un manicotto fissato alla caldaia, e che forma il risiedo della valvula. La leva della valvula, è all'estremità attraversata da un'asta, che con un bottone a madrevite le vien fissata ad un'estremità; e coll'altra sta unita ad una molla ad elice. Questa molla chiusa in un'astuccio *m* fa muovere su questo un'indice a misura che è più o meno tesa, e mostra la tensione del vapore, e fa da manometro. I numeri indicati sull'annessa divisione sono libbre inglesi: il rapporto del braccio di leva è di 1 : 6, e la superficie della valvula è 5 pollici quadrati. Le valvule sono sormontate da un condotto per il vapore a fine di evitare il nuvolo che presso di esse si formerebbe. La lastra fusibile Q'' è fissata sull'inviluppo esterno della cassa del fuoco; e per maggior sicurezza avvi un tappo di piombo alla sommità della parete del fuoco, il quale fuso, permetterebbe che il vapore uscente spengesse il fuoco. Inoltre per riconoscere in ogni istante la posizione del livello dell'acqua, esistono un tubo *q* a livello di acqua, e tre robinetti *rrr* di prova tutti presso la cassa del fuoco. Col fischio a vapore *o* il macchinista da l'avviso dell'arrivo della locomotiva: e quello di Sharp è elegante e sonoro, avendo la campanetta del metallo che si usa nelle campane da orologi, e di giusto diametro, e di grossezza circa un millimetro. Il robinetto per vuotare la caldaja nella Rapida e presso la cassa del fuoco, e nelle macchine di Stephenson e di Hawthorn rimane di fianco. Vien pulita la cassa del fuoco facendo uso di quattro fori che esistono nei quattro angoli, i quali si tengono chiusi da tappi di ferro quando la locomotiva è in movimento; ed in quelle di Sharp e Roberts si ha anche un recipiente verso il basso della cassa del fumo per raccogliere le immondezze lasciate dall'acqua. Dobbiamo finalmente rammentare il tubo riscaldatore che porta il vapore dalla caldaia nel *tender*, quando non se ne ha bisogno, o per esser ferma la locomotiva, o per dovere agire con poca forza come se trovasi in una discesa.

La macchina propriamente detta si compone di tutti quegli organi che servono alla distribuzione e all'azione del vapore. Perciò qui primieramente è da considerarsi la presa del vapore che segue ove il calore ha meno attività ed ove l'acqua è meno agitata, cioè presso la cassa del fumo col mezzo di un tubo V, che per ottenerlo più asciutto si eleva nella cupola, e questa ha doppio involucro. Viene stabilità, moderata, e intercettata a volontà la comunicazione tra la caldaia e i cilindri per mezzo del regolatore *t* che è una valvula a farfalla. Questa per esser dominata

dal macchinista ha un'asse orizzontale *h* che dopo avere percorsa nell'interno alla sommità la caldaia ne esce fuori, e col mezzo di un manico *k* a leva può esser girata, e la posizione del manico sovra un'arco che li sta dirimpetto, mostra la porzione di vapore che è mandato ai cilindri. Il tiratore ad un sol foro che usa Stephenson per regolatore, dà con maggior sicurezza la chiusura al vapore. I robinetti che a tale oggetto si usavano nelle prime locomotive erano incerti nel movimento per le adesioni che presentavano. Il tubo R di presa del vapore che ha in diametro $0^{m},12$ si biforca in due all'escire dalla caldaia, i quali percorrono internamente la cassa del fumo e si portano ai cilindri MM. Questi cilindri si trovano alla rapida nell'interno della cassa del fumo per conservare elevata la temperatura, ma in altre locomotive spesso si vedono esterni per averne gli assi nei piani delle ruote motrici. E dovendo nei cilindri entrare il vapore da una parte e dall'altra dello stantuffo alternativamente, vi esiste a ciascuno il tiratore N che con la scatola del vapore raccoglie due delle tre luci, o aperture; tra le quali le due estreme chiamate luci di entrata, comunicano con l'interno dei cilindri, e quella del mezzo, luce di egresso, si apre nei tubi che danno egresso al vapore entro il cammino.

Il tiratore N prendendo moto rettilineo alternativo mette la luce d'egresso successivamente in comunicazione o colla luce estrema della diritta, o con quella estrema della sinistra, a seconda che il vapore si distribuisce nell' interno dei cilindri per la luce di sinistra o di diritta. I tiratori (fig. 3) son guidati da due eccentrici circolari fissati alla sala motrice TT, ed in questa locomotiva gli eccentrici son quattro *cc' c' c*, due servono ad imprimere il movimento della macchina in avanti *c'c'* e gli altri due *cc*, servono ad imprimere il movimento della macchina all'indietro. A ciascuno dei tiratori appartiene un' eccentrico dell'una specie, ed uno dell'altra; e tanto gli uni che gli altri eccentrici sono abbracciati da un collare che porta una spranga *z'* terminata in una forcella *z* che si impegna con una leva che imprime il moto al tiratore. Gira il macchinista la leva *f* quando vuole o far cessare il movimento, o mandare la macchina in avanti, o piuttosto in addietro; con tal leva tira o spinge la spranga *f'* e questa con adattate leve che agiscono sull'albero *gg* (fig. 3) (meglio si comprenderà come possa farsi dopo avere esaminato il legame tra la leva *f*, e le forcelle nella fig 5) toglie d' imboccatura due forcelle, per esempio, quelle che mandano la locomotiva in avanti, e pone in imboccatura quelle che la mandano in addietro. Acciocchè abbia quella leva una gita determinata, si muove fra due archi circolari e può esser fissata al punto morto, cioè ove il vapore non entra nei cilindri. Gli eccentrici sono di bronzo, e i loro collari sono di ferro battuto insieme colla spranga per ottenere attrito dolce e sufficiente resistenza, e le forcelle sono di acciaio chiuse nel loro angolo in modo, che possano abbracciare l'albero di distribuzione *e*, e slargate poi in modo che anche al punto morto non incontrino quell' albero. Gli eccentrici *cc* del movimento in avanti, che son quelli agli estremi della sala TT motrice, son fatti tutti d'un pezzo; e quelli *c'c'* del movimento indietro che

stanno fra le manovelle si compongono di due pezzi. La corsa dell'eccentrico varia tra 0m,075 e 0,115, e il diametro delle pulegge tra 0,28 e 0,31. Gli eccentrici di movimento diverso fanno fra loro un' angolo di 180.° diminuito della somma degli avanzamenti angolari, e gli eccentrici per un medesimo movimento sono fra loro ad angolo retto. Il sistema di trasmission di moto permette di dare ai tiratori gli avanzamenti, i quali sono indispensabili per ottenere l'inversione di movimento. Quattro traverse *llll* fissate al sotto della locomotiva sostengono gli alberi *ee* di distribuzione, e questi sono muniti ciascuno di due leve che portano i tiratori *e'e'*, e di due leve terminate in una capocchia ove si impegnano le forcelle.

Gli stantuffi S compongonsi con due anelli di bronzo grossi 0m,015, e alti 0m,045, ritenuti fra due dischi di ghisa, e fenduti in un punto della lor circonferenza, onde possano aprirsi ed opporsi al passaggio del vapore. Essi son forzati a dilatarsi da un cuneo fatto agire con una molla convenientemente tesa per mezzo di una vite. Le verghe degli stantuffi sono di acciaio e cilindriche con diametro 0,044, e si articolano colla biella sovra un' asse tenuto in guida orizzontale dalle traverse *llll*. Per esser le bielle *y* della rapida molto pesanti accaderebbe un' irregolarità di moto nella sala motrice, secondochè fossero in atto di discendere o di salire, se non esistesse un contrappeso ad un punto prossimo alla circonferenza delle ruote motrici.

Il moto dello stantuffo in ciascuna corsa ha tre punti principali; due sono accennati dalla manovella D orizzontale della sala motrice, e corrispondono al principio e alla fine della corsa; il terzo che è il mezzo della corsa, non corrisponde precisamente alla manovella D' verticale atteso l'avere la biella *y* più inclinazione mentre la manovella volge verso i cilindri, che quando volge all'opposta direzione. Quindi le semicorse dello stantuffo si fanno con differenti velocità, e in tempi ineguali, se la manovella e la ruota girano con moto uniforme. Analogo è l'andamento del tiratore perchè gli eccentrici agiscono come altrettante manovelle che abbian per gomito l'eccentricità. Pure i loro movimenti sono meno irregolari per la molta differenza che esiste tra la lunghezza delle verghe degli eccentrici, e la eccentricità; e possiam ritenere che i tre punti notabili del loro movimento corrispondono alle tre posizioni del raggio massimo degli eccentrici, due orizzontali, ed una verticale. Il rapporto tra la biella e il gomito della manovella è quello delle loro misure 1m,429 : 0m,2,32 cioè di sette ad uno, mentre quello della verga degli eccentrici all'eccentricità è di 1m,628 : 0m,047 cioè di 37 ad uno circa. Sono le due manovelle DD' della sala motrice ad angolo retto fra di loro, per cui la forza movente partendosi dal vapore che muove gli stantuffi, agirà sovra una manovella col massimo di leva quando sull'altra è al punto morto, e viceversa, e si avrà sull'asse o sala motrice TT costantemente quasi egual forza (*Mecc.* 287).

La relazione tra il movimento dello stantuffo e del tiratore dipende dalla distribuzione del vapore, ed ora per renderla più semplice riterremo che si abbia una distribuzione normale di vapore, come per molto tempo è stata usata nelle locomotive. Il va-

pore cominci ad entrare dietro lo stantuffo nel momento che esso è per cangiare direzione, e la sua introduzione continui durante tutta la sua corsa. L'egresso nel vapore cominci a effettuarsi nell'istante che lo stantuffo ritorna indietro. Il tiratore dovrà quando lo stantuffo è ad un' estremità del cilindro chiudere ambedue le luci, ed esser per aprire all' ingresso del vapore, quella che corrisponde all'estremità ove trovasi lo stantuffo, ed all'egresso l'altra. Nelle posizioni intermedie dello stantuffo dovrà il tiratore mantenere aperta all'ingresso del vapore quella luce che porta dietro allo stantuffo, e aperta all' egresso quella che conduce avanti allo stantuffo; ma non dovrà continuare per il medesimo verso il suo movimento per tutta la durata della corsa dello stantuffo, dovendo, quando questa è alla fine, esser tornato il tiratore indietro alla posizione primitiva del chiudere le due luci, le quali han sempre una estensione e richiedono un poco di movimento del tiratore tanto per aprirsi come per chiudersi completamente. Lo stesso dovendo aver luogo per le due corse opposte dello stantuffo, può dirsi che per una corsa intera di questo, il tiratore deve compire due semicorse, ovvero ad ogni posizione orizzontale della manovella il tiratore deve trovarsi al mezzo della sua corsa. Per conseguenza la celerità dello stantuffo va crescendo mentre quella del tiratore decresce. Essendo quasi perpendicolari il gran raggio dell'eccentrico colla manovella, ne viene che il tiratore ha un movimento rapidissimo quando lo stantuffo trovasi all'estremità del cilindro, cioè quando li convien cambiare rapidamente i passaggi del vapore, e lo ha lentissimo quando tali passaggi si han da mantenere aperti. Si comprende come col mutare la posizione al tiratore si possono mandare avanti, o addietro le locomotive. Mentre lo stantuffo è alla metà della sua corsa, e la manovella è verticale e volta verso il basso, agendo il vapore sotto allo stantuffo si avrà il movimento in avanti, e agendo sopra alle stantuffo si avrà in addietro. L'opposto accade se la manovella sta volta verso l'alto nella posizione verticale. Perchè poi il vapore agisca di sotto allo stantuffo o di sopra, conviene che il tiratore si trovi al principio o alla fine della corsa; ed invertita la posizione di questo, si inverte ancora l'azione del vapore sullo stantuffo. Gli eccentrici che presiedono al movimento in avanti, non possono mettersi in comunicazione col tiratore, senza che sia lo stantuffo alla conveniente posizione in riguardo al tiratore, e perciò quando agiscono, le loro forcelle daran sempre il movimento in avanti. Lo stesso può dirsi degli eccentrici che presiedono al movimento in addietro.

La distribuzione normale del vapore presenterebbe gli inconvenienti di far tardi giungere il vapore per aiutare lo stantuffo ad invertire il moto, e di lasciar che il vapore fino all'ultimo della corsa accresca il moto dello stantuffo, ed ambedue questi effetti portano perdita di forza nella macchina. Per evitare tali inconvenienti hanno i meccanici regolato il moto del tiratore in modo, che la comunicazione con la caldaia, o respettivamente coll'atmosfera, si abbia prima che lo stantuffo giunga all'estremità del cilindro, ed han chiamato avanzamento all'introduzione, ovvero all'escita le

quantità di cui le luci estreme sono scoperte tanto per introduzione, quanto per l'escita del vapore, quando lo stantuffo cangia direzione. Per conseguenza il tiratore deve aver passato il mezzo della sua corsa quando lo stantuffo giunge all'estremità, ed il gran raggio dell'eccentrico deve non esser normale alla manovella, ma inclinato per quel tanto che porta l'avanzamento. Anche l'uso dell'avanzamento non è senza inconvenienti, e particolarmente noteremo il dover seguitar lo stantuffo per un certo tratto la corsa contro la forza del vapore che entra. Ad oggetto che il movimento a contro-vapore non impedisca l'applicazione dell'espansione, è stato allungato il cassetto del tiratore (165) da ciascun lato, o gli è stato dato il ricoprimento esterno. L'interno del cassetto che è grande quanto la distanza dei due orli interni delle due luci, si scema o si munisce di un ricoprimento interno, ogni qual volta si vuole usare in gran proporzioni l'espansione, e si da un'avanzamento angolare di 30° e 40°. Si determina generalmente la lunghezza del ricoprimento interno in modo, che l'evacuazione del vapore si faccia 25.° avanti il fine della corsa dello stantuffo. E la misura del ricuoprimento esterno si stabilisce collocando il tiratore al mezzo della sua corsa, e prendendo la quantità di cui il cassetto sorpassa da ciascun lato gli orli esterni delle luci estreme. Si determina quanto deve essere il ricuoprimento esterno corrispondente ad una data espansione, col porre il gran raggio dell'eccentrico per modo che il tiratore chiuda una delle luci estreme, e col farlo girare finchè cominci ad entrare il vapore per la luce opposta. Nella Rapida l'avanzamento angolare dell'eccentrico essendo 28°, e l'angolo corrispondente al ricoprimento esterno essendo 24°, la somma di questi due angoli darà l'angolo che la manovella fa con l'orizzontale nell'istante dell'interruzione del vapore nel cilindro. L'utilità di un gran ricuoprimento è riconosciuta da tutti i costruttori. Si vede dunque che con piccole alterazioni fatte alle dimensioni del tiratore normale, e alla posizione dell'eccentrico si può intercettare l'entrata del vapore nel cilindro in un punto determinato della corsa dello stantuffo, senza generare movimento a contro-vapore, si può far vuotare il vapore in un punto del pari determinato della corsa dello stantuffo e differente dal primo; e si può avere un determinato avanzamento a contro-vapore per un'espansione determinata.

169. *Meccanismi di espansione variabile*. — Non si ha sempre costante il carico del treno, non tanto da una corsa in un altra quanto anche nella medesima corsa, ed ancora le pendenze e le contropendenze che può avere la strada, rendono non proporzionata la forza motrice alla resistenza. Il compensare la resistenza con una inversa variazione di velocità non è permesso che dentro certi limiti, o per i pericoli che si incontrerebbero in velocità eccedenti, o per il ritardo dell'arrivo dei treni quando di troppo vogliasi scemare la velocità. Per questi motivi è stata posta in uso l'espansione variabile, maggiore quando si vuole minor forza e viceversa con molta economia di vapore, e di combustibile. Si conoscono meccanismi che fan variare la lunghezza nella corsa del tiratore, e altri che consistono in due tiratori sopraposti. Io pren-

derò a descriverne uno per ciascuna di queste specie, quello cioè di Stephenson, e quello del Mayer. Nella disposizione di Stephenson (Tav. XIV fig. 4) rimangono le stesse parti e forse più semplici per esser collegate insieme le due forcelle degli eccentrici che presiedono al moto in avanti e al moto in addietro: le luci del vapore sono collocate di fianco al cilindro, ove pure rimane il tiratore: la verga di questo è guidata da un solco o apertura a in forma di arco che tenendo luogo delle forcelle abbraccia il bottone in acciaio fissato a quella verga. L'arco si collega colla sua parte superiore alla biella dell'eccentrico che presiede al movimento in avanti, e colla sua parte inferiore all' altra dell' eccentrico che presiede al movimento in addietro. Esso partecipa così dei movimenti delle due bielle, e può essere alzato e abbassato a volontà dal macchinista pel mezzo della verga f coll'intermedio dell'albero g del cangiamento di moto. La corsa del tiratore nel movimento in avanti, sarà più grande a misura che l'arco sarà disceso più basso, ed egualmente sarà tanto più grande la corsa del tiratore nel movimento in addietro, a misura che l'arco sarà più inalzato. Il minimo di corsa ha luogo quando la leva f sta al punto morto, essendo allora le bielle degli eccentrici equidistanti dal punto dell'arco ove è preso il bottone. In tal caso dunque il bottone è al mezzo dell' arco, e quando si avvicina più ad un'estremo, o all'altro, si ha il movimento in avanti o in addietro, e con corsa nel tiratore minore, e perciò con espansione di vapore, tantopiù grande, quantopiù il bottone si approssima al mezzo. Queste mutazioni di posto del bottone corrispondono ad altre posizioni della leva f e quella del mezzo corrisponde alla leva verticale. Onde il macchinista possa a volontà fissare la leva f, porta essa un morsetto che entra in incastri praticati alla parte superiore di una piastra in forma di arco, ove sono marcate le frazioni $^3/_4$, $^1/_2$, $^3/_8$, $^1/_4$ che indicano ove la leva deve esser fissata, acciocchè il vapore sia intercettato ad una corrispondente frazione della corsa dello stantuffo. La mutazione recata alla lunghezza della corsa del tiratore tende a mutare le dimensioni delle luci estreme col farle meno scoprire, e col chiuderle più presto: perciò tende ad affrettare l'escita del vapore, ed a prolungare la sua compressione. Per cui i vantaggi recati dall'espansione sono in parte compensati dagli inconvenienti per un lato di un escita troppo sollecita e per l' altro dalla compressione del vapore. Pure questa disposizione ad arco o *coulisse* è di uso quasi generale nelle locomotive, e molto frequente nelle macchine fisse, e pei battelli. Onde il sig. Phillips ha procurato di darne una teoria che fa conoscere in tutti gli istanti del movimento la posizione relativa dei tiratori e dello stantuffo (*Annales des Mines T. III p.* 1). Oltre a resultare da quella teoria determinati con numeri tutti gli elementi della distribuzione, se ne fanno le seguenti deduzioni. La durata dell'ammissione del vapore, della sua espansione, della sua escita, e della sua compressione è indipendente dall' eccentricità negli eccentrici. Si hanno ammissioni più lunghe nel sistema delle sbarre incrociate che in quello delle sbarre dirette, e la differenza è tanto più grande quanto più si opera con espansione. Si ha minor compressione colle sbar-

re incrociate che colle sbarre rette. E il raggio d'eccentricità influisce soltanto sulla corsa del tiratore, e sull' apertura delle luci.

Se non vi fosse troppa complicanza nel meccanismo si direbbe che nel sistema del Meyer l'applicazione dell'espansione del vapore produce maggiori vantaggi, ed il moto combinato dei due tiratori che vi sono usati, permette d' intercettarne l' ammissione nei cilindri a qualsivoglia punto della corsa dello stantuffo, senza che la sezione delle luci, e l'angolo sotto il quale si effettua l'escita provino variazione. A,A sono (Tav. XIV fig.5) le luci del tiratore che serve nell'introduzione del vapore nei cilindri. Questo tiratore agisce nello stesso modo che il tiratore ordinario delle locomotive solo invece di lasciare entrare il vapore nel ritirarsi, presenta di faccia agli orifizj cilindrici una luce di eguale dimensione. Su questo primo tiratore scorrono due prismi pieni B,B, che possono chiudere gli orifizj del primo tiratore, e intercettare l'introduzione del vapore, determinando il principio dell' espansione in quello di già entrato. Tali prismi son mossi da una leva CDE che ruota in D, e che ha l'estremità inferiore messa in moto da un bottone E collegato all' asse dello stantuffo. Col mezzo di ruote dentate e di una catena alla Vaucanson, e di una verga che sta prossima al macchinista si imprime moto di rotazione alla verga T, che passa nei prismi BB con passi di viti inverse, e si avvicinano i prismi per chiuder più presto le luci AA, o si allontanano. Una lancetta indica sovra un quadrante collocato sul davanti della macchina, il grado di espansione del vapore con numeri corrispondenti.

170. *Contrappesi e stabilità delle locomotive* — Come abbiam veduto nella Rapida in Inghilterra suole equilibrarsi con un contrappeso posto alle ruote motrici la sola manovella, o tutt' al più la totalità delle forze perturbatrici verticali. In Germania e in Francia si cerca di stabilire un equilibrio completo, cioè ancora colle forze perturbatrici orizzontali, come sarebbero gli eccentrici, le bielle, gli stantuffi, e i loro assi ec. e tutte quelle parti che mutano posto orizzontalmente nel moto della locomotiva. E poichè nelle due macchine simmetriche che compongono la locomotiva, un movimento di un pezzo in avanti ne ha sempre un' altro corrispondente sull'altra parte in addietro, ne viene un moto oscillatorio nella locomotiva, il quale pure dovrebbe essere equilibrato per ottenerne la stabilità. Come le forze perturbatrici verticali danno irregolarità nel giro della ruota, e quelle orizzontali producono differenti pressioni sulle ruote, così il moto oscillatorio fa guastare le ruote, e le rende non eguali nè perfettamente centrate. Questi ultimi guasti non si evitano, nè con i contrappesi alle forze perturbatrici verticali, nè a quelle orizzontali, ma con i contrappesi a queste ultime forze si va incontro ad un aumento nocivo di peso della locomotiva, per cui pensa l' ingegnere Couche che torni conto solo di usare i contrappesi alle forze perturbatrici verticali (*Annales des Mines* 1855 *T.III.pag.*427). Il Resal nel determinare (*l.c.p.*411) le condizioni che tolgono i moti nocivi delle locomotive, o la loro stabilità conclude, che conviene avere i centri di gravità delle manovelle e delle bielle motrici sopra i loro prolungamenti, il che può ottenersi col por-

re dei contrappesi su questi prolungamenti, riguarda come più difficile ottener l'intento nel caso dei cilindri interni che di quelli esterni, e ritrovando impossibile estinguere tutti quei moti stabilisce che in pratica il valore di quei contrappesi dovrà esser medio tra i valori dati dai calcoli, e potrà determinarsi sperimentalmente. Volendosi dare al contrappeso B la forma di una lente di raggio r, rappresentata la biella motrice con un parallelepipedo rettangolo della lunghezza l, e rappresentata con B' la massa di essa biella, per estinguere la tendenza al moto del galoppo egli ritrova la relazione approssimativa

$$Br = \frac{B'l}{12}.$$

171. *Della velocità, e della potenza nelle locomotive.* — Per ogni doppia gita dello stantuffo le ruote motrici fanno un giro per cui la velocità dello stantuffo, e il diametro delle ruote sono gli elementi per determinare la velocità della macchina; mentre la potenza di essa si determina dalla sua adesione più che dal diametro delle sue ruote, e dalla superficie di riscaldamento della caldaia. Infatti quando la macchina cessa di avere adesione, girano le ruote motrici senza che la locomotiva si avanzi. Se per altro il limite dell'adesione è molto esteso, allora la forza si determina colla forza del vapore, e scema in proporzione del rapporto che esiste tra il gomito della manovella e il raggio delle ruote motrici. Adunque stabiliremo che la velocità della locomotiva sta in ragione diretta del raggio delle ruote, e la potenza in ragione inversa di quello: per cui ne viene che le macchine da mercanzie, le quali non interessano molto celeri, ma piuttosto molto potenti hanno le ruote piccole. Una macchina a gran velocità suole avere ruote motrici da $1^m,8$ a $2^m,2$ per utilizzare tutta la sua potenza sotto l'adesione dovuta a due quinti o tutt'al più alla metà del suo peso, cioè con un sol paio di ruote aderenti, e con quattro ruote direttrici. Ed una macchina a piccola velocità avrà le ruote da 1^m, a $1^m,5$, ed abbisognerà dell'adesione di quasi tutto il suo peso, cioè tutte e tre le paia di ruote dovranno essere tutte aderenti, o dovranno agire coll'adesione. Nelle macchine moderne di Stephenson i due cilindri sono esterni, ed ai lati del telaio del carro, e portano il loro asse al di fuori delle ruote. Con tal disposizione si evita di far piegata in forma di manovelle la sala delle ruote motrici, ed invece al centro di queste esiste una porzione solida alla cui periferia in un punto sta imperniata la biella che porta all'asse del cilindro. Per accoppiare altre due ruote a quelle motrici lo stesso punto di quella periferia sta collegato per mezzo di verga di ferro imperniata con un corrispondente punto della parte solida centrale della vicina eguale ruota. Allora si han quattro ruote aderenti, e col medesimo modo se ne possono fare anche sei, e più, ma tutte devono essere precisamente di egual diametro.

Non si suole una sala della locomotiva caricare di più di 12 tonnellate ma quasi sempre di meno: onde una locomotiva a sei ruote ancorchè le abbia tutte aderenti, e tutte caricate al massimo non potrà dare che l'adesione proveniente dal peso di 36 tonnellate. E posto che il coefficiente di attrito sia un ottavo della pressione, il massimo sforzo che potrà quella sviluppare per la trazione

del treno sarà di 4500^k qualunque sia la forza e la quantità del vapore. E poichè ogni tonnellata di carico porta un attrito di $2^k,69$ potrà con tal forza trasportarsi un carico di circa 1673 tonnellate. Chiamata S la superficie di riscaldamento in metri quadrati, M il carico totale del treno in tonnellate di mille kil. per ciascuna, V la velocità in kilometri per ora, ed n l'inclinazione della strada, puoi determinarsi la relazione tra questi elementi col mezzo della formula empirica $S = 0,0058 (1 + 0,2 n) VM$. Sia $S = 100^{mq}$ come suole aversi all'incirca nelle comuni locomotive, $V = 30$ kilom., $n = o$ avremo $M = 575$ tonnellate per il peso del treno compresa la locomotiva: numero che è molto al di sotto di quello che può tirarsi col mezzo del massimo di forza sopra indicato.

172. *Macchine molto potenti, e articolate. Macchina di Engerth.* — Che se l'esigenza del commercio richiedesse uno sforzo superiore al limite riferito converrebbe aumentare il numero delle sale della locomotiva, e il numero delle ruote, allora si hanno le macchine molto potenti che per la loro eccessiva lunghezza conviene sieno articolate onde possano percorrere curve di piccol raggio. Si può, come segue al presente nella salita per la via tra Torino e Genova usare all'opportunità una seconda locomotiva, ma gl'inconvenienti dell'uso permanente di due macchine sono incontestabili, e più grandi delle macchine a otto o dieci ruote. Non già che ancora in quest'ultime sia l'uso senza danni, e in primo luogo rimane impossibile mantenere, come debbono essere, tutte le ruote radenti di egualissimo diametro, secondariamente la gran potenza della macchina che proviene dal suo aumentato peso accresce il difetto fondamentale delle locomotive (*Mecc.* 89) in uso; cioè di portare in cammino tanto carico non commerciabile e ad unico oggetto di avere un punto d'appoggio; in terzo luogo il treno troppo lungo porta a difetti nella esatta sorveglianza ed a pericoli; finalmente la gran lunghezza nella locomotiva dà il bisogno di abbandonare i sistemi rigidi, e passare a quelli articolati con scapito grande nella semplicità dei meccanismi. Ne viene che è da preferirsi il sistema di usare solo per i piccoli tragitti difficili la macchina molto potente, e riprendere la macchina ordinaria alla prima stazione, ove ciò può farsi. Questo è il metodo adottato nella strada ferrata di Lione che presenta gran traffico, e difficili salite.

L'eguaglianza di diametro nelle ruote posta anche da principio non si mantiene per l'ineguale logoramento che soffrono. Ad evitare questo si procura di repartire equabilmente il carico sù tutte le sale, e quando le ruote radenti son molte si abbandona l'uso delle molle separate per ciascuna sala, e si fa uso delle molle a bilancieri che collegando fra loro le diverse sale, e potendo avere differenti dimensioni permettono di premere egualmente tutte le ruote. Questi bilancieri offrono anche il vantaggio di lasciar più posto per la caldaia, che nelle macchine potenti suole avere maggior diametro. Sebbene in alcuni modelli di locomotive possa procurarsi egualmente repartito il carico sù tutte le ruote quando la macchina è ferma, varia la pressione sulle ruote motrici quando è in movimento per effetto della pressione del vapore sullo stantuffo, la quale vie-

le ruote essere eguale a quella dello stantuffo: Per cui chiamo D il diametro delle ruote motrici, ed l la lunghezza della corsa, avremo la resistenza sullo stantuffo resultante dalla somma delle precedenti espressa da

$$(1+\delta)\left[(k\pm g')M\pm g'm+aV^2\right]\frac{\pi D}{2l}+\frac{\pi DF}{2l}$$

Questa resistenza per esser ridotta ad unità di superficie deve dividersi per la superficie dei due stantuffi, che è $\frac{1}{2}\pi d^2$ indicando con d il diametro dei cilindri, ed alla medesima deve essere aggiunta la pressione p atmosferica, e la resistenza δV dovuta al tubo di escita del vapore che ben si comprende dovere essere proporzionale alla velocità. Per conseguenza la espressione della resistenza totale sullo stantuffo diviene

$$R=(1+\delta)\left[(k\pm g')M\pm g'm+aV^2\right]\frac{D}{d^2l}+\frac{DF}{d^2l}+p+\delta V$$

ove è chiaro dover porsi $g'=o$ quando il piano stradale è orizzontale. Secondo Pambour la quantità k è eguale a 6 libbre inglesi ovvero 2^k,60 e δ corrisponde a 0,37 per le macchine a ruote accoppiate.

175. *Relazione tra il volume relativo del vapore che agisce nei cilindri, e la pressione ivi sofferta.* — Prima che la macchina si ponga in moto, il vapore acquista nei cilindri la tensione che ha nella caldaja, e a misura che si accelera il moto dello stantuffo scema la tensione del vapore nel cilindro impiegandosene una porzione a vincere la resistenza, ed un altra porzione ad imprimere il moto alla macchina. Divien poi quella tensione eguale alla resistenza quando il moto è stabilito, cioè prende l' uniformità. Di qui ne viene che conoscendosi il vapore generato dalla caldaia, e la resistenza incontrata dallo stantuffo può calcolarsi quante volte verranno in un dato tempo ad empirsi di vapore i cilindri e perciò quanta sarà la velocità della macchina.

Abbiamo detto come possa aversi una relazione diretta tra il volume relativo del vapore e la pressione (14). Ma la formula oltre ad essere non di certa dimostrazione diverrebbe complicata, e non atta all' uso che se ne deve fare nelle macchine a vapore. Conviene pertanto prendere in luogo di quella formula una relazione approssimata molto semplice. Ritenuto per la pressione del vapore nei cilindri il valore della resistenza R, e indicando con μ il volume relativo del vapore formato sotto questa pressione, la formula secondo Pambour in metri per le macchine a condensazione è

$$\mu=\frac{1000}{0{,}4227+0{,}000529R}$$

e per le macchine senza condensazione

$$\mu=\frac{1000}{1{,}421+0{,}000471R}$$

In conseguenza adottando nelle macchine a vapore per n e per q i valori che vengono da queste formule, e per le locomotive della seconda, potremo esprimere con

$$\mu=\frac{1}{n+qR}$$

il detto volume relativo.

176. *Teoria generale della locomotiva.* — La seguente teoria tratta dall'opera del Pambour sulle locomotive, può valere eziandio per le macchine a vapore in generale, e sarà completata, ed estesa all' uso di quelle macchine che agiscono con espansione, mediante ciò che ne riferirò in seguito parlando delle mac-

chine per i battelli a vapore. Essa dà formole complicate ma più precise di quelle che ho riportate parlando in generale delle macchine a vapore, giacchè non include il coefficiente K, la cui determinazione totalmente sperimentale, convenendo ad un uso della macchina, forse non è adattata ad un'altro. Essa mostra la variazione di effetto della macchina al mutare la sua velocità, e la resistenza che le viene opposta. Riteniamo le notazioni sopra rammentate, e indichiamo con S il volume dell'acqua ridotta in vapore dalla caldaia in un'ora, sarà μS il volume corrispondente del vapore sotto la pressione R, cioè durante la sua azione entro i cilindri. Che se l è la corsa dello stantuffo, d è il diametro del cilindro, e c rappresenta quel di più che hanno di lunghezza i cilindri oltre la corsa, sarà

$$\frac{\mu S}{\frac{1}{4}\pi d^2 (l+c)}$$

il numero dei colpi di stantuffo in un' ora. Ma la velocità è indicata dal numero delle circonferenze delle ruote motrici che si ravvolgono sulla strada, e per ogni due doppie corse degli stantuffi formano un giro le ruote, perciò dovremo dividere per 4 e moltiplicare per πD la precedente formula onde ottenerne la velocità, ed avremo

$$V = \frac{\mu S D}{d^2 (l+c)}$$

in metri, e per assegnarla in kilometri dovremo dividere per 1000. Sostituito il valore del volume relativo μ, possiamo esprimere la velocità della locomotiva, con

$$V = \frac{DS}{1000 d^2 (l+c)(n+qR)}$$

ove in luogo di R si deve intendere posto il valore sopra trovato espresso negli elementi della macchina. Non sorprenderà che sia la velocità indipendente dalla tensione che ha il vapore nella caldaia, e che solo vi influisca la caldaia col suo potere evaporante, ma anzi avvertirò che a torto i meccanici aumentano il peso alla valvola di sicurezza per accrescere la velocità alla macchina. Nel fare uso di questa formula non deve mai supporsi un carico M inferiore a quello della macchina e del *tender*, nè superiore a quello che converrebbe alla tensione del vapore nella caldaia, giacchè allora la resistenza supererebbe la potenza. Di questi due limiti ne tratteremo in appresso. Nel secondo membro dell'equazione entrano in R i termini aV^2, bV, e non conviene risolvere l'equazione rapporto a V, che sarebbe di terzo grado. Si userà nella risoluzione il metodo d'approssimazione: cioè si comincerà dal supporre quei due termini mancanti, e si avrà un valore di V, il quale restituiti quei due termini, si porrà in essi, e si avrà un secondo valore di V. Nel caso che questo sia assai differente dal primo col medesimo metodo se ne potrà avere un terzo. Si potrà anche cominciare il calcolo col porre in questi termini per V quel valore approssimato che il criterio suggerisce. Una riflessione analoga possiamo fare sulla quantità S la quale si accresce in parte colla velocità.

Posto che non sia dato il carico della macchina, ma la velocità, siccome il carico M entra nella resistenza R, occorre risolvere la precedente equazione rapporto a M, e senza che io stia a scrivere il processo del calcolo riporto il resultato in

$$M = \frac{1}{(1+\delta)(k \pm g')}\left[\frac{lS}{1000\,(l+c)\,qV} - \frac{d^2 l}{D}\left(\frac{n}{q} + p + bV\right) - F\right] - \frac{aV^2 \pm g'm}{k \pm g'}$$

che indica il numero di tonnellate al lordo che compone il carico del treno. Che se vorremo il numero delle tonnellate di mercanzie da trasportarsi; dovremo sottrarne il peso del convoio, il peso della macchina, il peso dell' acqua e del combustibile provvisto ec. Sulle strade ordinarie con locomotive da 8 a 12 tonnellate il peso della provvisione fatta suol essere di 6 tonnellate, e il peso dei vagoni è di circa $^2/_3$ quello delle mercanzie trasportate, onde

$$\frac{2}{5}\left(M-6\right)=\frac{2}{5}M-4$$

forma il carico in tonnellate effettive. Nella riduzione di questa formola a numeri dobbiamo avvertire che il termine aV^2 non può determinarsi, dipendendo dalla lunghezza del treno, senza conoscere il carico, e perciò dovremo procedere nel modo che abbiam detto di sopra facendo la risoluzione per approssimazione.

Finalmente richiedasi l' effetto utile della locomotiva, il quale può valutarsi in più modi, coerentemente a quello che abbiamo veduto nelle macchine a vapore in generale.

1.° Data una delle due quantità, la velocità o il carico, può richiedersi l' effetto utile dalla locomotiva. Quest' effetto si valuterà dal carico in tonnellate trasportato in un' ora ad una certa distanza orizzontale, cioè da MV; e perciò se è conosciuta la velocità lo ritrarremo dalla formula qui sopra riportata del valore di M moltiplicata per V; e se è conosciuto il carico dedurremo l' effetto utile dalla formula, che poco sopra si è riportata per la velocità, moltiplicata pel carico. In ambedue i casi deve notarsi la differenza che si è fatta tra il carico in tonnellate al lordo compreso il convoio, dal carico in tonnellate al lordo non compreso il convoio, e il carico di tonnellate effettive. Scelgasi l' effetto utile esprimere con il carico in tonnellate al lordo non compreso il convoio; e per conseguenza si avvertirà che nelle formule seguenti usiamo M sebbene fin qui ci abbia rappresentato il carico in tonnellate al lordo del convoio.

2.° Un' altro modo per calcolare l' effetto utile o il lavoro della locomotiva consiste nel ridurlo a cavalli-vapore, e qui avvertirò che non tutti valutano il caval-vapore per 75^{km}, ed il Pambour lo valuta per 450^{km} in un minuto, valore ben poco differente dall' altro, e ritiene che questo corrisponde a 100 tonnellate brute tirate ad un kilometro per ora. Perciò stabilito come abbiam detto di sopra l' effetto utile della macchina colla formula MV dovremo dividere per 100 onde ridurlo a cavalli-vapore. Ben si comprende che la strada deve essere orizzontale, ed anzi dobbiamo avvertire che per ridurre in cavalli l' effetto della macchina deve la velocità essere la minima, cioè la più vantaggiosa. Poichè al crescere della velocità della locomotiva, scema in progressione rapida l' effetto utile, ed il *maximum* come vedremo si ottiene ad una certa velocità che diremo la minima. Tanto nel caso adunque che si riduca la misura dell' effetto utile in cavalli, o si assegni in tonnellate trasportate ad un kilometro per ora, conviene per precisione indicare sotto qual velocità è stata presa, oppure sotto qual carico, ammenochè non si tratti dell' effetto utile *maximum*.

3.° Vogliasi conoscere quanto è il lavoro della macchina relativamente alla spesa, e al consumo del combustibile. Si produce la quantità di vapore occorrente al sopra valutato ef-

fetto MV con un consumo di N kil. di combustibile, e perciò l'effetto utile della macchina espresso in quantità di combustibile necessaria a trasportare una tonnellata ad un kilom. sarà

$$\frac{N}{MV}$$

Qui torniamo a notare che volendo le tonnellate non a lordo, ed escluso il convoio devonsi fare dal valore di M le occorrenti detrazioni.

4.° Ancora la quantità di vapore speso può misurare l' effetto della macchina, e ben si comprende che

$$\frac{S}{MV}$$

indicherà in volume il vapore occorrente per trasportare una tonnellata ad un kilom. oltre all'osservazione precedente relativa alle tonnellate al lordo; o utili, qui si deve notare che S era il vapore effettivo passato nella macchina, e che se vi sono, come realmente accade, delle fughe deve porsi invece la quantità di vapore che si svolge nella caldaia, e che si deduce dalla superficie di riscaldamento della medesima.

5.° Inversamente l'effetto utile prodotto per ogni kil. di combustibile si avrà dalla formula

$$\frac{MV}{N}$$

6.° E l' effetto utile prodotto per ogni metro cubo di vapore, o per un kil. d' acqua consumata si avrà dalla formula

$$\frac{MV}{S}$$

esprimendo con S, o il vapore generato in un' ora in metri cubi, o i kil. d'acqua consumati per generare il vapore.

7.° Nè resta difficile avere il peso del combustibile occorrente per un caval vapore, poichè il peso di combustibile che occorre a trasportare una tonnellata ad un kilom. sta ad una tonnellata trasportata ad un kilometro come il peso cercato sta a 100 tonnellate trasportate ad un kil. Per conseguenza il peso del combustibile occorrente per un cavallo nella locomotiva sarà

$$\frac{100.N}{MV}$$

Sempre fatte le precedenti osservazioni sul genere delle tonnellate, sul carico, e sulla velocità.

8.° Egualmente i metri cubi d'acqua evaporata per avere nella locomotiva un cavallo saranno

$$\frac{100\ S}{MV}$$

9.° E viceversa l'effetto in cavalli prodotto pel consumo di un kil. di combustibile sarà

$$\frac{MV}{100.N}$$

10.° Come l'effetto in cavalli prodotto dal metro cubo d'acqua evaporata sarà $\frac{MV}{100.\ S}$

Molti altri problemi possono proporsi, particolarmente quando la locomotiva è da costruirsi. Uno principale è quello di determinare la superficie di riscaldamento nella caldaia onde la locomotiva possa dare un certo effetto utile. Senza che io mi trattenga sovra questo o sovra altri, dirò che allora nelle trovate equazioni variano i dati e le incognite: conoscendo M e V si può determinare il valore di S dal quale si deduce la superficie occorrente di riscaldamento.

177. *Velocità e carico corrispondenti al massimo effetto della locomotiva* — Gettando lo sguardo sulla formula sopra riportata per il carico M e riflettendo che quella moltiplicata per V dà l' effetto della locomotiva, il quale richiediamo che divenga un *maximum*, è facile ac-

scorgersi che siccome la velocità non trovasi per fattore che nei termini negativi, il *maximum* avrà luogo al minimo valore di quella velocità. Che possano dirsi negativi tutti i termini ove trovasi per fattore la V è chiaro, giacchè la g' deve avere il segno positivo altrimenti si supporrebbe il moto lungo una discesa, e non avrebbe luogo il moto per la forza della macchina ma per la gravità. Ora ritornando al valore che si è pure di sopra assegnato alla velocità noi vediamo che prenderà il valor minimo quando la resistenza R avrà il suo valore massimo; ma la resistenza non può superare la tensione del vapore nella caldaia la quale indicheremo con P, dunque il valore minimo della velocità sarà

$$V' = \frac{DS}{1000.\ d^2\ (l+c)(n+qP)}$$

E otterremo il carico corrispondente al massimo effetto dal valore di R, che ora diciamo di P, ponendovi V' in luogo di V, ed è

$$M' = \frac{d^2l}{(l+c)(k \pm g')}(P - p - b'V')$$
$$- \frac{1}{k \pm g'}\left(\frac{F}{1+\delta} \pm g'm\right) - \frac{aV'^2}{k \pm g'}$$

in questa formula deve farsi l'avvertenza che si è detto di sopra per il termine aV'^2. Non è da credersi che possa proseguirsi un viaggio con questo carico, giacchè ogni più piccola irregolarità della strada servirebbe a fermare il treno, ed anzi anche per muoverlo converrà o l'aiuto di una forza aggiunta, o che il macchinista forzi la tensione del vapore nella caldaia. Potrà tal carico esser ritenuto come il limite al quale conviene avvicinarsi per ottenere il massimo effetto.

Dopo tuttociò si comprende che la misura dell'effetto massimo sarà M'V', la quale si otterrà dal ricercare separatamente il valore numerico di questi due fattori, e farne la moltiplicazione. Che se richiedasi di averlo in cavalli, o con gli altri modi sopra indicati si useranno le formule riportate nel paragrafo precedente colla mutazione di M in M' e di V in V'.

178. *Formule dedotte per la pratica e osservazioni relative.*

Attrito de' vagoni per una tonnellata . . . . . . $k=2^k,69$

Pressione atmosfer. $p=10335^k$

Costante del volume del vapore . . $n=0,0001421$

Fattore del volume del vapore . . $q=0,0000000471$

Avanzo del cilindro oltre la gita . . $c=0,05$

Celerità della macchina in kilom. per ora

$$V = \frac{20220.S}{(1+\delta)\left[(2,69 \pm g')M \pm g'm + aV^2\right] + Q}$$

essendo $Q = F + \frac{d^2l}{D}(13352 + bV)$

Carico della macchina in tonnellate al lordo compreso il convoglio

$$M = \frac{1}{(1+\delta)(2,69 \pm g')}\left[20220\frac{S}{V} - \frac{d^2l}{D}(13352 + bV) - F\right]$$
$$- \frac{1}{2,69 \pm g'}(aV^2 \pm g'm)$$

Ottenuto il valore della velocità e del carico per le formule sopra riferite si ha quello dell'effetto utile in tonnellate, in cavalli, in combustibile consumato, in acqua consumata ec.

Per il caso dell'effetto massimo; velocità del massimo effetto utile in kilom. per ora

$$V' = \frac{9,524}{1,421 + 0,000471.P}\frac{D.S}{l.d^2}$$

Carico massimo della macchina in tonnellate al lordo compreso il convoglio

$$M' = \frac{d^2 l}{(1+\delta)(2,69 \pm g')D}\Big[P - 10335 - bV'\Big] - \frac{1}{2,69 \pm g'}\left(\frac{F}{1+\delta} + aV'^2 \pm g'm\right)$$

Nel confrontare il risultato di queste formule con quello di buon'esperienze con macchine diverse e con diversa inclinazione nella strada, ritrova il Pambour un'accordo assai soddisfacente, giacchè una certa differenza deve attribuirsi all'effetto del vento, alle irregolarità sull'evaporazione alle perdite di calore nella caldaia in movimento, e all'aver usati dei valori medj, mentre nella pratica talvolta avran luogo i più piccoli ed altre volte i più grandi. Spesso nella pratica pelle locomotive invece delle unità in kil. in metri, e in kilometri, si prendono quelle in libbre, in piedi, e in miglia inglesi, ed allora conviene nelle formule surriferite porre

784	invece di	20220
6	«	2,69
2736	«	13362
62,5	«	100
1,804	«	9,524
0,0023	«	0,000471
2118	«	10335

179. *Uso delle precedenti formule nel calcolo per la Rapida*. Proponiamoci di trovare la celerità che la macchina può acquistare montando una salita di $0^m,004$, ed avendo il solo carico proprio e quello del *tender* ripieno d'acqua, e di coche, che sono 9500^k. Avremo

Evaporazione effettiva della macchina . . . . $S=2^{mc},10$
Diametro dei cilindri. . . $d=0^m,33$
Corsa dello stantuffo . . . $l=0^m,464$
Gravità relativa per tonn. . $g=4^k$
Diametro delle ruote. . . . $D=1^m,67$
Attrito addizionale della macchina, misurato in frazione della resistenza . . . . $\delta=0,14$
Peso trasportato . . . $M=9^t,5$
Peso della locomotiva , $m=15^t$
Attrito della macchina . $F=2,69 . 15^t+22=62,35$

Porremo *a priori* V=30 kil. per poter avere approssimativamente la resistenza dell'aria

$$aV^2 = 0,015 . 60^2 = 54$$

e la resistenza del tubo d'escita

$$bV = 0,6 . 60 = 36$$

Sostituiti questi valori nell'espressione della velocità abbiamo

$$V = \frac{20220 . 2,10}{1,14 . 158,55 + 62,35 + 405,66} = 63,89$$

cioè la macchina può acquistare per velocità massima 63,89 chilometri per ciascun'ora

Proponiamoci di trovare quanto sovra, una strada orizzontale potrà tirare di carico, quando acquisti la velocità di 30 kilometri in un'ora; dovremo porre $g'=o$, ed usare i precedenti valori nella formula del carico

$$M = \frac{1}{1,14 . 2,69}\left[\frac{42462}{30} - 405,66 - 62,35\right] - \frac{15,5}{2,69} = 303^t,8$$

e da questo detraendo $9^t,5$, e i $^2/_3$ per il peso dei vagoni rimarrà

$$^1/_3 (303^t,6 - 9^t,5) = 98^t$$

per il peso delle mercanzie, e sarà questo presso a poco il massimo quando si tratta di trasportare passeggeri con moderata velocità.

Si voglia ora la velocità minima, e il carico corrispondente sovra una strada orizzontale, e perciò l'effetto massimo ritenendo che il vapore nella caldaia si faccia a 4 atm. e perciò P = 41340, onde avremo

$$V' = \frac{9,524 . 1,67 . 2,10}{(1,421 + 0,000471 . 41340) 0,464 (0,33)^2} = \frac{33,4}{1,056} = 31,64$$

e posto $g=o$ cioè la strada orizzontale

$$M' = \frac{0,0505(41340-10335-18,98)}{1,14.2,69.1,67} - \frac{1}{2,69}\left(\frac{62,35}{1,14}+15,03\right) = 279^t,49$$

Pertanto il lavoro massimo della locomotiva sarà in tonnellate trasportate ad un kilometro per ora

$$M'V' = 279,49.31,64 = 8843,06$$

e la forza massima della macchina espressa in cavalli sarà

$$\frac{M'V'}{100} = 88,4\ cav.$$

Il consumo minimo di coche per un cavallo verrà dato in

$$\frac{100\ N}{M'V'} = \frac{100.500}{8843,06} = 5,^k65$$

Occorrendo nella Rapida in un ora $N=500^k$. Dobbiamo però avvertire che questo consumo con molta diligenza usata, è stato reso anche a soli 300^k. Ed il consumo minimo dell' acqua evaporata per un cavallo, considerando che ora convien prendere il vapore formato nella caldaia, il quale supera quello speso nella macchina di circa $^1/_{18}$ e perciò conviene porre $S=2,22$ sarà dato in

$$\frac{100.S}{M'V'} = \frac{100.2,22}{8843,06} = 0^{mc},02514$$

180. ***Resultati sperimentali della Rapida, e di altre locomotive, ed uso delle formule con questi*** — Dalla costruzione della Rapida resulta che la sua superficie di riscaldamento, ridotta è di $21^{mq},02$, e che il peso che gravita sulle ruote motrici è di 9550^k. Ritenuto che un ottavo sia il coefficiente d' attrito tra le ruote e la rotaia ne viene che il limite della potenza della macchina è $1193^k,75$, e questo porta il limite del carico da trasportarsi in 434,5 tonnellate.

La celerità quando la macchina tirava quattro vagoni è stata tale da percorrere

con coche	kilometri	in minuti
$399^k,992$	29,191	23
203,800	17,221	25
143,670	16,701	30

La media della spesa complessiva dei consumi, e dei restauri, e del frutto dei capitali, detratta dall'esperienza fatta in Francia alla strada di Versailles, parte sinistra, sovra sedici locomotive, fù per ogni kilometro percorso di franchi 1,262 nel 1841
» 1,242 » 1842
» 1,079 » 1843

Dai resultati sperimentali di velocità e carico è ben facile dedurre l'effetto della macchina, ancorchè la strada non sia orizzontale. Il numero dei cavalli corrispondente all'effetto della macchina si ottiene moltiplicando lo sforzo predetto in kil. per lo spazio percorso in metri in un 1", e dividendo per 75, onde ritenute le denominazioni precedenti, avremo che per i ragionamenti fatti di sopra (174) lo sforzo è espresso dalla seguente formula che indica la resistenza della macchina, e quella del treno,

$$(1+\delta)\left[(k\pm g')\,M\pm g'm+aV^2\right]+F=R'$$

e questo sforzo deve essere moltiplicato per la velocità V, e diviso per 75. Applicata la formula al caso della Rapida che percorre dieci metri al 1" tirando un treno di cinquantanove tonnellate sopra una strada che sale il 4 per mille, avremo

$$\frac{R'v}{75} = \left[1,14\,(6,69.59+4.9,5+1,5) + 62,35\right]\frac{10}{75} = 74,23$$

Questo numero di cavalli è minore come dovevasi aspettare di quello che sopra abbiamo dato per il massimo effetto.

181. ***Osservazioni, per il minore consumo del combustibile*** — La successiva diminuzione che abbiamo no-

tuta nella spesa per il movimento a vapore si deve principalmente alla migliore regola nel dirigere il fuoco, e fù ritrovato utilissimo lo stabilire premi per quei macchinisti, che consumavano minor quantità di combustibile. Quindi ne venne l'attenzione a coprire l'apertura superiore del cammino nelle macchine in riserva; ad usare in queste i ceneraj mobili, e alzare il ceneraio per sottrarre più sollecitamente il fuoco all'azione dell'aria; a tener conto dell'espansione per scemare la produzione del fluido, e particolarmente dell'espansione variabile che maggiormente risparmia la forza motrice quando abbonda; ad usare i tubi d'escita del vapore di sezione variabile che oltre a contribuire all'effetto dell'espansione, dà il modo di regolare la forza di aspirazione del cammino; e ad altre diligenze che possono essere suggerite dalla particolarità della macchina e della strada.

Nelle locomotive si usa buon coche quale è quello che si prepara per le fonderie, mentre il coche che si ha dalle fabbriche del gas idrogene è friabile, contiene zolfo, e porta un consumo del 12 per 100 più dell'altro. Non vi si usa il carbon fossile per il troppo fumo che produce; le legna danno minore attività al fuoco, pure presso di noi nei piccoli treni sono usate anche con economia.

Influisce assai sul consumo del combustibile la proporzione che esiste tra la superficie di riscaldamento data dai tubi, e quella data dalla cassa del fuoco, e al crescere di questa scema il combustibile richiesto per la produzione di un metro cubo di vapore. Contuttociò non può eccedersi la proporzione di 10 : 1, altrimenti la troppa piccolezza della cassa del fuoco impedirebbe che la fiamma circolasse per tutti i tubi. Può aversi 171,31 per il numero medio dei chil. di coche, che occorrono ad un metro cubo di vaporazione totale.

CAPITOLO X.

Dei Battelli a vapore, di altre macchine a vapore, e di altre considerazioni sul calorico, e sui fluidi aeriformi.

Vapori di mare.

182. *Cenno storico dei Battelli a vapore* — Alla scoperta della macchina a vapore, tenne dietro ben presto l'applicazione alla navigazione la quale rimonta fino a Papino, che indicò potersi usare i remi giranti: questi diventarono poi ruote a pale, e recentemente si son convertite in ruote ad elice (*Idr.* 178) Serafino Serrati per il primo imaginò e pose in corso sull'Arno una barca a vapore come si rileva dalla lettera di esso stampata in Firenze nel 1787. Ebber luogo in Francia, in Inghilterra, ed in Scozia molti tentativi ma senza buona riuscita, e fino al 1807 non si ebbe compiuto successo, epoca nella quale Fulton fece costruire a New-Jorck un battello a vapore colla sua macchina, che era a bassa pressione della forza di 20 Cavalli, e colla quale si potè rimontare il rapido fiume di Hudson con celerità media di una lega ed un terzo all'ora. Lo stabilimento di un gran numero di battelli a vapore fece seguito al riuscito uso di quel fluido motore fatto dal Fulton, per'

cui le diverse macchine scoperte vi furono provate, quella di Wolff ad espansione con due cilindri contenuti da un involucro che li cingeva di vapore caldissimo, ed anche quelli di Trevitich ad alta pressione la quale nel 1817, saltò in aria per un esplosione della caldaia. Il numero delle esplosioni nei battelli è stato poi ed è tuttora assai frequente particolarmente per avere i diversi costruttori tentato di ottenere dalle caldaie una gran quantità di vapore, occupando il minore spazio possibile, o almeno nel volume più conveniente alla forma del Piroscafo. Le pareti quasi piane che fa bisogno usare in tali caldaie mal si tengono al posto anche coll'uso di tiranti, e perciò accadono esplosioni dannosissime eziandio in caldaie a bassa pressione, e pare che in queste siano ultimamente state frequenti e dannosissime per la legge che in Francia le esonera dalla prova colla tromba premente ad una tripla (140) pressione. Vennero in credito per i battelli le macchine a cilindri oscillanti, ed a cilindri inclinati, e nel 1850 fù principiato l'uso della macchina binaria nel battello il Galileo, che agì sulle prime ad etere solforico, e quindi a cloroformio.

183. *Delle Macchine adattate ai battelli* — Le macchine a vapore nei battelli sono quasi sempre due eguali accoppiate, ed a quelle appartengono due caldaie parimente accoppiate, e che non han di comune che il cammino. Per la facilità nel comunicare il moto rotatorio, sulle prime furon proposte le macchine a cilindri orizzontali, e sono state riprodotte a diverse epoche, e più recentemente quelle a cilindri inclinati che permettono di dare grandi corse allo stantuffo, e maggiore effetto alla macchina. Si usano molto le macchine a cilindri oscillanti; e quando son macchine a cilindri fissi, si pongono in basso i grandi bilancieri, trasportando colla biella il moto all'albero motore che rimane più in alto.

L'asse delle ruote a pale è verso il mezzo del battello, o alquanto più prossimo alla prua che alla poppa, e non sempre agisce direttamente sù di esso la macchina, ma talvolta coll'intermedio di una ruota dentata, e ciò quando sarebbe il suo moto troppo celere col far compiere una rivoluzione alle ruote per ogni doppia gita dello stantuffo. E neppure sempre il moto rotatorio deve trasmettersi ad un'asse orizzontale, normale alla lunghezza del bastimento, giacchè nei battelli ad elice si trasmette quel moto all'asse dell'elice, che è parallelo a quello del bastimento. Per quanto siano i battelli ad elice di minore forza di quelli a pale, il loro uso è estesissimo per tanti vantaggi che presentano nella regolarità del moto, dai quali proviene, anche avuto riguardo alla proporzione colla forza, un'economia grande di combustibile a confronto con quelli a pale.

184. *Delle Caldaie per i battelli e delle loro incrostazioni* — Hanno i battelli spesso caldaie tubulari, o almeno con tante circonvoluzioni interne (137) della fiamma, che imitano le tubulari. E sebbene si usi anche la caldaia ad alta pressione di Wolff, pure di rado suolesi adottare la forma cilindrica, e spesso a facce piane e meno resistenti, e di frequente vi si adopra il sistema di Watt con i condotti del fuoco a galleria. È regola stabilita fino da Watt che il modo più efficace e più economico è di far lavora-

re le macchine per il mare ad una pressione tra 2 $^1/_2$ e 3 $^1/_2$ libbre inglesi per pollice. L'uso del vapore ad alta pressione richiede macchine di più forza, e fa portare pesi maggiori senza aumentare il tirante dell'acqua, ma non già la velocità, e consumando una gran quantità di combustibile per produrre il molto vapore necessario.

I depositi che han luogo nelle caldaie alimentate da acqua di mare sono esenti dal carbonato di calce, all' incontro di quelli che si fanno nei generatori alimentati con acqua dolce. E la materia che incrosta le caldaie dei battelli è il solfato di calce, il quale comincia a depositarsi quando l' acqua arriva ad una concentrazione di circa 15° dell' areometro Beaumé. Pertanto mantenendo col principio dell'evacuazione (140) l'acqua ad un grado inferiore di concentrazione, non accaderanno i depositi. E a tal fine dovrà l' evacuazione farsi per tal modo che il solfato estratto sia almeno quanto quello introdotto per l'alimentazione; e quindi l' acqua calda e satura levata, deve essere metà dell' acqua iniettata. Il processo dell' evacuazione quanto corrisponde bene alle acque di mare nelle caldaie a bassa pressione, altrettanto fallirebbe per le acque dolci. Ed il medesimo è insufficiente del tutto per le caldaie ad alta pressione ad acqua marina, ed eziandio per quelle a bassa pressione, non è efficace nella parte di superficie della caldaia ove agisce direttamente il fuoco, perchè ivi il troppo calore fa superare all' acqua il grado limite di concentrazione.

185. *Dell' uso dei battelli a vapore; e resultati sperimentali ottenuti dalle loro macchine* — Non solamente per trasportar carichi posti sul battello nei viaggi di navigazione sono destinate le loro macchine, ma spesso anche per rimorchiare altri battelli, o per dar moto al battello in modo differente dall' uso delle ruote a pale, o di quelle ad elice. Mentre la macchina di un battello non trasmette direttamente il moto all' albero delle ruote, può permettere di levar la connessione con quello, ed ancorato il battello può agire da macchina fissa in mezzo al mare. Avvolgendo questa macchina all'argano una catena: in questa disposizione servirà a rimorchiare un bastimento, e a farli superare un difficil transito.

Si rimorchiano altri legni di mare ancora mentre il battello colla macchina progredisce, collegando l' uno dopo l' altro i diversi legni, e si fanno quelli procedere in convoio esteso e carico, quanto permette la forza della macchina. Il battello la Vittoria nel 1839 sul canale Forth carico di passeggieri a carico medio, acquistò una velocità di 20 miglia l'ora, che deve essere stata presso a poco quella limite della macchina, e con un quarto della sua forza rimorchiò con velocità di 2 $^1/_2$ miglia (4 kilom.) all' ora otto battelli attaccati in fila di diverso carico, che in tutti di 564 tonnellate, e che avevano per tiranti di acqua respettivi in pollici 96, 105, 102, 72, 84, 120, 96, 120, 48, 54. Per rimorchiare questo carico si usano di ordinario venti cavalli con velocità di 1 $^1/_2$ miglio all' ora. Sulla Senna è in uso il rimorchiare a vapore con un battello mancante di ruote a pale, e di elice. Una catena di ferro fissata agli estremi e sommersa al fondo del fiume, si avvolge per quattro giri sopra un tamburo di ferro fuso collocato sul ponte. Il tamburo è fatto

girare da una macchina a vapore della forza di 25 cavalli, e la catena avvolgendosi tira il battello a piacimento sovra una parte o sovra l'altra, avendo quel battello rimorchiatore eguale costruzione da ambedue gli estremi, e perciò due timoni.

In quanto all' uso più comune dei diversi legni di mare che servono per navigazione a vapore, e portano i nomi, di battelli a vapore, di piroscafi, di Steammari ec. credo di più concisamente sodisfare riportando la seguente

TAVOLA

sulla navigazione con vapori

Battelli e Macchine	*Celerità*		*Forza*
Chalonnese. Lungo $27^m,60$; largo $6^m,28$; con tirante d'acqua a vuoto di $0^m,72$; con due ruote a pale; con una macchina di Miller a bassa pressione che consuma per ogni cavallo in un'ora $7^k,5$ di carbon fossile . .	Sulla Saona da Chalon a Lione, per 54 leghe di posta. *discesa* 19 ore	*salita* 15 ore	16 cavalli
Hirondelle N.° 1. Lungo 34^m; largo $4^m,40$ con tirante d'acqua a vuoto $0^m,15$ e con due ruote a pale. Con due macchine di Jackson a bassa pressione, con una sola caldaia rettangolare che aveva per superficie di riscaldamento 50^{mq}, e consumava per ogni cavallo in un'ora $7^k,8$ di carbon fossile	8	15	16 cav. in amb.
Hirondelle N.° 3. Lungo $34^m,50$; largo $4^m,76$; con tirante d'acqua a vuoto $0^m,55$ e con due ruote a pale dentate sui contorni inferiori. Con due macchine di Jackson a media pressione di 2 atm. che fan 34 colpi al minuto con due caldaie cilindriche che hanno per superficie di riscaldamento 20^{mq}, e consumano per ogni cavallo in un'ora $6^k,1$ di carbon fossile	6,5	9 1/2	33 cav. in amb.
Hirondelle N.° 4 di ferro. Lungo 43^m, largo $4^m,6$ con tirante d'acqua a vuoto $0^m,5$, con due ruote a pale inclinate di 11 pale per ciascuna. Con			

Battelli e Macchine	*Celerità*		*Forza*
due macchine come sopra del sistema di Jackson a media pressione di 3 atm. che fan 34 colpi al minuto; con due caldaie cilindriche, che hanno 30^{mq} di superficie di riscaldamento, e consumano per ogni cavallo in un ora 5^{k}, di carbon fossile. . . .	7	10,5	50 cav. in amb.
Rhone. Lungo 40^{m}; largo 6^{m},66 con tirante d'acqua a vuoto 0^{m},80; con due ruote a pale; con due macchine sul sistema di Miller a bassa pressione, con due caldaie rettangolari, che consumano per ogni cavallo in un'ora 6^{k} di carbon fossile	Sul Rodano da Lione ad Arles per 225 1/2 kilom. *discesa* 17 ore	*salita* 75 ore	50 cav. in amb.
Papin N.° 1. Lungo 56^{m}; largo 6^{m} con tirante d'acqua a vuoto 0^{m},65; con due ruote a pale. Con due macchine di Klandslay a bassa pressione che fan 40 colpi per minuto, che richiedono per ogni cavallo in un'ora 4^{k} di combustibile	15	45	80 cavalli in amb.
Sirius N. 1. Lungo 57^{m},33; largo 6^{m},66; con tirante d'acqua a vuoto di 0^{m},60 con due ruote a pale. Con due macchine di Bary a cilindro inclinato ad alta pressione di 5 atm. con due caldaie tubulari, simili a quelle da locomotiva, che consumano per cavallo in un'ora 7^{k} di carbon fossile.	12	42	90 cavalli in amb.
Sirius N.° 2. Lungo 56^{m} largo 6,66 con tirante d'acqua a vuoto 0^{m},60 con due ruote a 15 pale coniche; con due macchine come sopra che fan 30 colpi per minuto, ad alta pressione di 4 atm. con due caldaie tubulari con ventilatore, che consumano per ciascun cavallo in un'ora 4^{k} di carbon fossile	11	35	180 cavalli
Cocodrile di ferro. Lungo 50^{m}; largo 5^{m},30 con tirante d'acqua a vuoto 0^{m},6 con due ruote a pale; con due macchine a media pressione di			

Battelli e Macchine	*Celerità*	*Forza*
2 $^1/_2$ atm. con tre caldaie tubulari con superficie totale di riscaldamento 80^{mq}, che consumano per ciascun cavallo in un'ora $6^k,9$ di carbon fossile	12 56	90 cavalli
Cadix di ferro. Lungo 207^m, largo 20^m, profondo 18^m che porta 950 tonnellate. Le macchine facevano 22 $^1/_2$ colpi per minuto	In mare	220 cavalli
Valetta di 950 tonnellate con ruote a pale, con macchine a cilindri oscillanti	17 miglia all'ora, e in 4 minuti 17 nodi.	400 cavalli
Ruby. Vascello inglese da viaggiatori di sezione traversa 19,^{m}3 con superficie bagnata di 144^{mq} con tirante di $0^m,94$ con due ruote di 12 pale ciascuna. Con due macchine che fanno 30 colpi per minuto con pressione di libbre 3 $^1/_4$ inglesi per pollice quadrato al di sopra dell'atm. Con caldaia ad acqua dolce che dispensa alla macchina per ogni minuto 3 piedi cubi di vapore	13 $^1/_2$ miglia inglesi all'ora.	190 cavalli
Medea. Con equipaggio da guerra con due ruote a pale, con due macchine che fanno 22,5 colpi per minuto, e consumano 5 piedi cubici inglesi di vapore per minuto, e libbre 8 inglesi di carbon fossile per cavallo e per ora.	11,35 miglia inglesi per ora.	[illegible] cavalli in amb.
Du Trembley. Con elice che fa 64 giri per ora. Con due macchine, che una a vapor d'acqua con pressione di 1 $^3/_4$ atm. e l'altra a vapor d'etere con pressione 1 $^7/_8$ atm. con egual corsa nei due cilindri, a semi-espansione. Consumano per ciascun cavallo in un'ora $1^k,69$. Con tempo non favorevole	Da Marsilia ad Algeri. 53 ore.	67 cav. in amb.
Il navig.° filava con sola elice in azione	6 $^1/_2$ nodi per ora.	
» con l'elice e con vele	11 $^1/_2$ nodi per ora.	
» con le vele soltanto	5 nodi per ora.	

186. *Teoria della macchina a vapore ad espansione — e sua applicazione ai battelli* — Abbiamo stabilito (175) che

$$\mu = \frac{1}{n+qp}$$

esprime il volume relativo del vapore, per conseguenza se tal fluido passa nella macchina del volume μ' all' altro μ mentre la pressione passa da P' a p, avremo

$$\frac{p}{P'} = \frac{\mu'}{\mu} \cdot \frac{1-n\mu}{1-n\mu'}$$

Sia P la pressione del vapore nella caldaia e P' quella nel cilindro avanti l' espansione, e p quella nel cilindro ad un punto qualunque dell' espansione. Sia L la lunghezza totale della corsa dello stantuffo, L' la porzione percorsa nell' atto che comincia l' espansione, ed l quella che corrisponde al punto d' espansione in cui abbiamo la pressione p. Sia A l' area dello stantuffo, e c l' eccesso nella lunghezza del cilindro, per la formula di sopra sarà

$$\frac{p}{P'} = \frac{L'+c}{l+c} \cdot \frac{1-nA(l+c)}{1-nA(L'+c)}$$

e $pAdl$ rappresenterà il lavoro elementare del vapore. In questo sostituito il valore di p tratto dalla precedente equazione, ed integrando fra i limiti L' ed L si otterrà il lavoro totale dopo l' espansione, purchè vi si aggiunga quello che ha avuto luogo avanti l'espansione il quale è P'AL'. Questo lavoro deve essere eguale a quello distrutto dalla resistenza totale sullo stantuffo, ed indicata con R quella unitaria abbiamo

$$\frac{P'A(L+c)}{1-nA(L'+c)}\left[\frac{L'}{L'+c}+log\frac{L+c}{L'+c}-nAL\right] = ARL$$

Ma siccome abbiamo (176) che la velocità dello stantuffo è

$$v = \frac{S}{n+qP'} \quad \frac{L}{A(L+c)}$$

eliminando P' tra queste due equazioni si deduce l' espressione della velocità. In quella noterò che R resulta dalla r in kil. per ogni metro quadrato della superficie dello stantuffo proveniente dal peso della macchina; dall' aumento δr che soffre questa resistenza per l' aumento del carico nel battello; dalla pressione p che si fa sulla faccia dello stantuffo ove cessa d' agire il vapore per ogni metro quadrato, e dalla resistenza F che dipende dagli attriti della macchina scarica, perciò è

$$R=(1+\delta)r+p+F,$$

e per conseguenza la velocità diviene

$$v=\frac{L}{A(L'+c)} \cdot \frac{S}{n+qK[(1+\delta)r+p+F]}$$

ponendo

$$K = \frac{\frac{L}{L'+c} - nAL}{\frac{L'}{L'+c}+log\frac{L+c}{L'+c}-nAL}$$

Quando non ha luogo espansione è K=1, L=L', P'=R.

La quantità d' acqua che occorre per produrre una certa velocità sarà il valore di S tratto da quella equazione; ed il lavoro meccanico valutato sullo stantuffo, si avrà da Arv cioè dal valore di r tratto dalla medesima equazione moltiplicato per Av.

Questa teoria tratta dal Pambour, mostra che non giova in un battello aumentare la tensione del vapore nella caldaia, giacchè quella che fa lavorare la macchina è la tensione del vapore nei cilindri, e questa è dipendente dalla resistenza incontrata dallo stantuffo a muoversi, o dal battello ad avanzarsi, ed inoltre come vedremo dalle formule seguenti al crescere della celerità delle ruote, non cresce nello stesso rapporto la celerità del battello.

Riteniamo che il battello abbia due macchine, e le ruote a pale. La velocità V del battello in un ora, divisa per il numero N delle rivoluzioni che fanno le ruote a pale in quel tempo, dà la circonferenza del circolo ruotante, cioè di quel circolo la cui circonferenza rappresenta la velocità del vascello, nel tempo del ravvolgimento della ruota. Onde indicato con β il raggio di questa circonferenza sarà

$$\beta = \frac{V}{2\pi N}$$

La resistenza R totale che incontra al moto il battello, sta a quella $2Ar$ che si oppone agli stantuffi, come la doppia gita dello stantuffo sta alla circonferenza del circolo ruotante. Dunque la resistenza totale sarà

$$R = \frac{2AL}{\beta\pi} r$$

cioè verrà data per gli elementi della macchina e viceversa, avendosi dalla teoria sopra esposta la resistenza r sullo stantuffo. Quindi potremo dedurre l' effetto totale della macchina che è $2Arv$ ovvero $^1/_{60}$ VR; e potremo dedurre

$$V = \frac{4ALNr}{R}$$

cioe la velocità con cui si muove il vascello è proporzionale alla resistenza che agisce sugli stantuffi, e sta in ragione inversa della resistenza che esso incontra, nella quale resistenza entra la velocità della ruota. Infatti ad ottenere la resistenza R conviene richiamare le dottrine della resistenza dei fluidi, dovendo il battello e le ruote a pale o ad elice, vincere la resistenza dell' acqua; alle quali due resistenze dovrà agguagliarsi R.

Macchine a vapore binarie.

187. *Dei vapori combinati, o macchine a vapore binarie per mare* — Il Trambley avvertendo alla perdita di calorico che si ha nel lasciare sfuggire il vapore d'acqua dalla macchina, lo ha voluto impiegare a produrre con la sua condensazione un nuovo vapore, quello dell'étere solforico, il quale cospirasse in altra macchina all' azione della prima, mentre in questa veniva a farsi un vuoto sul lato dello stantuffo opposto a quello ove seguiva l'azione del vapore. Per ottenere l' intento fece passare il vapore d'acqua che ha già funzionato, in un recipiente il quale è attraversato dall' alto al basso da molti piccoli tubi vicinissimi fra di loro. Un' estremo di questi tubi riposa nel vaso ove è l'etere, e perciò il suo vapore si inalza per quei tubi in un recipiente dal quale è passato alla macchina a vapor d'etere. Nel battello il Du Trembley tanto il cilindro a vapore d' acqua, quanto l'altro ad etere, concorrono a mettere in moto rotatorio gli stessi assi. Di poi il vapore d' etere è trattato come quello ad acqua, cioè è fatto condensare usando dell' acqua fredda, e l' etere liquido che si riproduce è ricacciato nel generatore del vapore, come l' acqua provenuta dalla condensazione era cacciata nella caldaia. Colla differenza che dell' etere non se ne perde che pochissima quantità, e senza rinnuovarlo fa una continuata rotazione da liquido in vapore, e da vapore in liquido. Questo sistema di vapori combinati, ben comprendesi come debba recare notabile economia di combustibile, mentre per l'infiammabilità dell' etere può essere pericolosissimo. Ma il vaporatore, il condensatore, e il cilindro ad etere sono involti in un' involucro esterno, che raccoglie qualunque porzione di va-

pore, d' etere potesse trapelare, e la camera delle caldaie è totalmente separata da quella delle macchine, e in questa non entrano i macchinisti che con lampade di sicurezza, o da minatori. Nella traversata da Marsilia ad Algeri, viaggio di 53 ore, non fuvvi bisogno che una volta di alimentare gli apparecchi dell' etere, lo che segue facilmente e senza rischio, facendo con un sifone avvitato al condensatore succhiare dal vuoto che vi si forma l' etere liquido occorrente. E mentre le migliori macchine consumano 4k per cavallo e per ora, e quella stessa del Trembley mandando i due cilindri a vapor d' acqua richiedeva 4k,4 mandata poi a vapori combinati di acqua e di etere, ha mostrato un consumo di 1k,16 cioè un' economia del 65 per cento sulla quantità del carbone bruciato, e del 55 per cento sulla spesa; poichè il consumo dell' etere cangia appena la cifra della proporzione sulla economia. Il vuoto nel condensatore del vapor d' acqua si trovava a 0m,65, e quello nel condensatore del vapor d' etere a 0,m10.

Conviene contuttociò moltissimo sorvegliare contro qualsivoglia minima fuga del vapore di etere, ed anche agire con sole due atmosfere di pressione o tutt' al più tre, giacchè a tensione superiore sembra che passi il liquido dai pori del metallo, e si riperde nella spesa di quello una gran parte del risparmio del combustibile.

Nel bastimento il Galileo che ha macchina di 120 cavalli, fù sostituito all'etere il cloroformio con egual resultato, e col vantaggio di non avere una sostanza infiammabile, ed una che si condensa a temperatura più elevata, lo che interessa nei viaggi equatoriali, ove per la temperatura dell' atmosfera l' acqua non produce la condensazione del vapore d' etere.

Fù proposto nel 1853 da M. Burau per liquido ausiliatore l' olio minerale che si estrae dal carbon fossile, il quale costerebbe soli 0,8 di franco per kil., bolle a 45°.C, e potrebbe usarsi a 4 atm. senza nuocere alla buona condensazione del vapor d' acqua riscaldante.

188. *Macchine binarie stazionarie* — La macchina binaria della forza di 50 cavalli che è in Lione per officina di cristalleria in azione fin dal 1847, ed è la prima collocata all' uso dell' industria, non consuma per 25 cavalli che 1,25 di litro, cioè meno di un kil. di etere per un giorno di 14 ore di lavoro. Essa ha mostrato che il consumo degli organi nell' interno è minimissimo, e si giudica che il consumo del carbone sia $^2/_5$ di quello che occorrerebbe ad una macchina ordinaria, ed è realmente 1k,20 per cavallo ogni ora. Pur non ostante può dirsi che abbia dei difetti, essendo la caldaia dell' acqua distante 15 metri dal vaporatore dell' etere, e perciò il vapore d' acqua che ha servito alla macchina ordinaria, deve compiere un tal tragitto prima di arrivare all' inviluppo del vapore d' etere, il quale è del tutto prossimo alla addetta macchina ausiliatrice. La tromba ad aria vi fa un vuoto di 45 a 50 centimetri, mentre quella del Trembley giunge ancora a 65 centimetri.

Altre Macchine a vapore mobili.

189. *Macchine a vapore mobili* — In diverse applicazioni torna conto aver mobile la macchina a vapore per poter trasportare l' efficacia della sua potenza nel luogo ove richie-

rasi come per estinguere incendi, per l'adacquamento delle campagne, per l'asciugamento dei ristagni ec. La costruzione di queste macchine suole essere non molto dissimile da quella delle locomotive, soppresse le parti che comunicano il moto alle ruote, e sostituito un volante all'albero motore, il quale rimane assai elevato. Per conseguenza la caldaia è tubulare, e vi sono due cilindri orizzontali ove agisce il vapore. La posizione di questi cilindri suole essere sopra la caldaia, e questa rimane assai bassa, e sorretta da un carro con piccole ruote.

190. *Macchine a vapore per l'uso dell' agricoltura* — Molte macchine a vapore sono state imaginate a quest' oggetto, ed una delle migliori mi sembra quella del Sig. R. Romani. La caldaia del diametro di due piedi, e lunga 4 piedi e mezzo, sta al centro del carro munita di valvula di sicurezza con manometro a molla, e di tubo per il livello dell'acqua verso la parte posteriore. Ai lati della caldaia avvi un certo spazio per l'acqua d'alimentazione. La fiamma dopo di aver girato nell'interno della caldaia ove sta pure la cassa del fuoco, manda l'aria bruciata per il cammino che sorge al mezzo della caldaia stessa. Ai lati di questa sono due grandi ruote del diametro cinque piedi, e con cerchio largo un piede ed un quarto, al mezzo del quale sta un giro di fori per comunicar loro il moto. Il tubo che conduce il vapore alla macchina esce dalla parte anteriore della caldaia e passa ad agire in due cilindri oscillanti lunghi 2 piedi e con diametro mezzo piede circa, posti coll'asse quasi orizzontale e normale a quello della caldaia. L'asse dei loro stantuffi prende la manovella, o cavallo, de' due alberi motori che passano, inclinati verso il basso, lungo il carro all'esterno delle ruote. E sono questi alberi muniti di una vite perpetua, ad un piede del loro estremo, ed hanno nell'estremità una ruota dentata ad angolo. Colla vite perpetua fan muovere, mediante ingranamento, un'albero posto dietro alle ruote che porta contro il giro dei loro fori una ruotella a caviglie cilindriche, le quali entrando nei fori mettono in movimento le ruote. Col mezzo della ruota ad angolo gli alberi motori fan girare mediante ingranamento il cilindro lavoratore, posto attraverso al carro con anima chiusa, del diametro di due piedi, e rivestita di lame taglienti ed oblique che ne aumentano il diametro per circa tre quarti di piede. Parallelamente a questo cilindro ne esiste un'altro a superficie liscia del diametro di un piede ed un quarto, che ha l'ufizio di comprimere ed agguagliare la terra; esso resta alla fine del carro e gira per il fregamento sulla terra. E nell'intermedio avvi una cassa per i semi, la caduta dei quali vien regolata da un asse con alette fatte girare nell'interno dal moto dell'ultimo tra i rammentati cilindri, ed essi sono accompagnati da convenienti condotti che solcano il suolo al luogo ove devono essere depositati. Tutta la macchina è contenuta da un carro rettangolare lungo 12 piedi e largo 6.

Cenno sulla Teoria dinamica del calorico.

191. *Sulla relazione tra il lavoro sviluppato, e la quantità di calorico impiegata per ottenerlo* — La generazione del lavoro nelle macchine mosse dai fluidi elastici sem-

bra dovere esser proporzionale alla quantità del calorico che si usa con quei fluidi, nella parte della macchina ove il lavoro si produce. Questa opinione è forse stata sempre ritenuta dagli scienziati, sebbene una dimostrazione diretta è difficile a darsi per la mancanza di dati precisi sulla quantità assoluta del calorico nelle diverse fasi di espansione, in cui ritrovansi i vapori. Certamente una grossolana conferma se ne ha dall'osservare che ogni operazione meccanica porta sviluppo di calorico; che per sollevare nella macchina a vapore lo stantuffo, occorre una quantità determinata di vapore in volume eguale allo spazio dallo stantuffo percorso; che nell' espansione del vapore si ha risparmio di un corrispondente volume del fluido, e si ha pure una corrispondente diminuzione di tensione. In più modi può intendersi la quantità di calorico impiegata: ella può produrre lavoro meccanico col solo passaggio dallo stato di calorico libero allo stato di calorico latente: ella può generarlo col distruggersi in totalità o in parte. Per ritenere o l'una o l'altra, delle teorie, converrebbe con precisione dimostrare che mentre fluidi elastici di natura diversa producono quantità eguali di lavoro, impiegano anche quantità eguali di calorico. E per decidersi a favore del primo concetto, converrebbe sapere se il gas che ha agito meccanicamente, ritiene in totalità la primitiva quantità di calorico, come per decidersi a favore del secondo farebbe duopo ritrovare assolutamente perduta la quantità di calorico corrispondente alla ottenuta azione meccanica. A tale oggetto richiedesi che si conosca 1.° la quantità totale di calorico che racchiudono i diversi fluidi elastici ad uno stato determinato di temperatura e di pressione, 2.° le relazioni che legano la temperatura e la pressione per una medesima massa di questi diversi fluidi. La cognizione di questi elementi è principalmente interessante nei vapori, i quali facilmente si condensano, e sono quasi i soli fluidi aeriformi usati nelle macchine; ed è per questo che io ritorno nei seguenti paragrafi sù questo soggetto.

Pubblicò Carnot nel 1824 le sue riflessioni sulla potenza motrice del calorico, ed egli riteneva che tal potenza non si dovesse ad un real consumo di calorico, ma bensì al suo trasporto da un corpo caldo ad uno freddo. Dal che consegue che lo sviluppo della forza motrice si ha ove si verifica differenza di temperatura, e che nelle macchine a fuoco deve evitarsi il contatto dei corpi a differente temperatura, lo che si evita quando si usa un gas che si dilata o si comprime, rendendo esso latente il calorico, o rendendolo libero per una quantità corrispondente alla sua variazione di volume. E caratterizza questa dottrina l'ammettere che una quantità di calorico, può pel solo fatto del suo passaggio da un corpo ad'un altro sviluppare una forza motrice senza che cessi mai di esistere come principio calorifico. Si è seguitato nelle vedute del Carnot fino a questi ultimi tempi, nei quali si è cominciato a ritenere che il calorico passa effettivamente trasformato in lavoro meccanico. Vien detto che nella nuova teoria il calorico non si conserva intieramente allo stato di calore, ed una porzione scompare per convertirsi in potenza meccanica, ed il lavoro ottenuto è proporzionale alla quantità

di calore perduto. Promotore ne è il Sig. Regnault con una serie di belle esperienze, tra le quali mi giova citare la seguente che sembra contraria all'antica teoria. Una massa gassosa sotto la pressione di 10 atm. è chiusa in uno spazio del quale si raddoppia bruscamente la capacità, e trovasi che la pressione discende a 5 atm. Due recipienti di egual capacità sono posti entro ad uno stesso calorimetro, uno è pieno di gas a 10 atm. il secondo è completamente vuoto, e stabilita prontamente la comunicazione fra i due recipienti, il gas si estende in un volume doppio, e la pressione come sopra si riduce a 5 atm. Non però come sopra stanno i resultati calorifici, giacchè nel primo caso si ottiene un raffreddamento considerevole, e nel secondo il calorimetro non manifesta il minimo cangiamento di temperatura. Si aggiunga a questa e a consimili esperienze, che il Sig. Hirn ha sperimentato con una macchina a vapore della forza effettiva di 160 cav. che agiva con espansione, ed era munita del condensatore, e dell' inviluppo a vapore di cui Watt fece uso; ed ha ritrovato che quella rigetta (sono sue espressioni) 24 calorie (unità di calorico) per secondo coll'acqua di condensazione di meno del numero delle calorie che la caldaia aveva comunicato al vapore. Vi è dunque annientamento e non solamente cambiamento di stato nel calorico? Prima di replicare conviene attendere altri resultati sperimentali; e quello di Regnault non potrebbe spiegarsi col calorico che esisteva nello spazio del vuoto boileiano, cioè nell'aria rarefatta? Intanto sarà conveniente che io accenni come il Sig. Reech sostiene la logica filiazione delle idee di Carnot: e dice non essere contrariata dalle esperienze di Regnault, e che solo può ritenersi essere una teoria inclusa in una più generale. Imprende a dimostrare che la quantità S di lavoro meccanico, teoricamente possibile ad ottenersi col mezzo di un fluido elastico, che prende una quantità q' di calorico, da una sorgente alla temperatura t', e versa un'altra quantità q in altra sorgente alla temperatura t, deve essere algebricamente espressa come segue

$$S=q\Gamma(t')-q\Gamma(t)$$

essendo $\Gamma(t)$ in generale una funzione della temperatura da determinarsi coll'esperienza, e che dovrà esser la stessa per tutti i fluidi elastici. Che poi la soprascritta formula comprenda le due rammentate teorie lo intendiamo, giacchè facendovi $\Gamma(t')=\Gamma(t)=G$ costante, si avrà $S=G(q'-q)$, cioè il lavoro meccanico sarà proporzionale alla quantità di calorico scomparsa. Facendo $q=q'$ si avrà $S=q[\Gamma(t')-\Gamma(t)]$, cioè il lavoro è proporzionale alla quantità di calore che senza niuna perdita è passata dall'una all'altra sorgente. Il prodotto $q\Gamma(t)$ sarebbe la misura razionalmente esatta del lavoro del calorico teoricamente possibile a concepirsi in luogo di una quantità q di calorico ad una temperatura t, e $\Gamma(t)$ sarebbe l'equilibrio meccanico dell' unità di calorico ad una temperatura t. In ogni fenomeno ove sia sviluppo di moto e di calore, converrebbe applicare l'equazione generale delle forze vive, ove le diverse quantità di calorico sarebbero rappresentate dai loro respettivi equivalenti in lavoro meccanico, e la conservazione delle forze vive, sarebbe di scorta alla dilucidazione del fenomeno.

E nella teoria dell'equivalente mec-

canico del calorico si può ritenere che quando una forza esiste e non produce l'effetto del moto, deve sviluppare una quantità determinata di calorico. Il rapporto che esiste tra il lavoro prodotto, e il lavoro consumato, costituisce quell'equivalente. Viene con alcune esperienze del Sig. Prescott Joule fissato che 430^{km} son capaci di generare il calore necessario per inalzare di un grado centigrado la temperatura di un kil. d'acqua. E ciò concorderebbe coll'esperienza di Hirn che porta 6 $^{2}/_{8}$ cav. ovvero 450^{km} per una caloria.

Proprietà di differenti vapori.

192. *Relazione tra la tensione di differenti vapori e le temperature* — Come altrove ho riportato (18) la forza elastica di differenti gas al confronto del vapor d'acqua, prima di por termine a questo trattato, ed ora che abbiamo compreso come ad uso dell'industria venga di già adoprato anche il vapore d'etere, e il cloroformio credo conveniente qualche cosa aggiungere non solo sulla tensione dei vapori, ma anche sovra altre particolarità di questi fluidi aeriformi. Mi son servito per dedurre le seguenti formule dei resultati ottenuti dal Sig. Regnault sull'alcool, sull'etere, sul solfuro di carbonio, sul cloroformio, e sull'essenza di terebintina, e vi aggiungerò la formula per l'acqua dedotta analogamente a quella (11) di Arago, nella quale si ha da ritenere che la tensione sia superiore a quella di un'atmosfera. Aggiungerò anche una formula per il petrolio, sebbene quella non mi ispiri molta fiducia per la differenza che ha colle altre. Non si ha da ritenere che le altre formule corrispondano con molta precisione ai resultati sperimentali, solo che se ne allontanano di poco, e pur non ostante fermerà la nostra attenzione quel coefficiente 5 il quale indica che le tensioni sono presso a poco proporzionali alla quinta potenza delle temperature, o forse delle quantità di calorico che esistono nei fluidi aeriformi. Il p indica la forza elastica in centimetri di mercurio, e il t la temperatura segnata col termometro centigrado.

Acqua

$$Log.p=5[log.(t+39,81)-1,77]$$

Alcool

$$Log.p=5[log.(t+54,55-1,74]$$

Etere

$$Log.p=5[log.(t+108,67)-1,78]$$

Essenza di trementina

$$Log.p=5[log.(t+47,32)-1,94]$$

Solfuro di carbonio

$$Log.p=4,8[log.(t+111,25)-1,802]$$

Cloroformio

$$Log.p=5[log.(t+103,16)-1,83]$$

Petrolio

$$Log.p=6[log.(t+63,3)-2,65]$$

Non avendosi sempre i liquidi allo stesso grado di purezza, possono ottenersi forze elastiche differenti, e particolarmente nel cloroformio.

193. *Delle mescolanze tra vapori e gas, vapori e vapori; e dei vapori di soluzioni saline* — Si ritiene generalmente che i vapori si comportino egualmente nell'aria e nel vuoto, fatta la differenza sul tempo dello svolgimento, ma il Regnault ha ritrovato nel vuoto ad eguali temperature un piccolo eccesso di tensione, rapporto a quella che si ha nel gas, il quale divien maggiore per l'etere. Questo eccesso a sentimento dell'abile sperimentatore, deve attribuirsi all'affinità delle pareti del vaso per il liquido. Talmentechè la legge del Dalton sulla mescolanza dei gas e dei vapori, può esser ri-

guardata come una legge teorica, la quale sebbene mai con precisione si verifichi, pure con tanta maggiore approssimazione riscontrasi, quanto più scema l'azione delle pareti del vaso sul liquido evaporante. E tale azione non produce effetto eguale a vaso vuoto, o a vaso ripieno del gas, essendo la facilità della nuova formazione del vapore in rimpiazzo di quello che si è condensato, molto maggiore nel vuoto che nel gas. Non ha tralasciato Regnault di esaminare quello che accade nella legge del Dalton, allorquando si fanno evaporare in un medesimo vaso vuoto due liquidi diversi, come il solfuro di carbonio e l'etere, ed ha ritrovato che il miscuglio dei vapori ben lungi dall'avere la tensione eguale alla somma di quelle dei due vapori isolati, la lor forza elastica è generalmente minore di quella che sarebbe prodotta dal liquido più volatile isolato. E la differenza comparisce tanto più grande, quanto più considerabile è la proporzione del liquido meno volatile.

Rudberg ha stabilito con esperienza, che nelle soluzioni saline fatte a qualsivoglia proporzione, si ha sempre verificata la seguente legge circa al vapore che se ne può ottenere. Qualunque sia la temperatura che una soluzione deve prendere per entrare in ebullizione, il vapore presenta soltanto la tensione che avrebbe se si svolgesse da acqua pura. E Regnault ha riconosciuto che questa legge ha luogo non tanto per le soluzioni saline, ma per qualunque soluzione in un liquido volatile di sostanze che son fisse alla temperatura a cui si effettua l'ebullizione, e che la medesima ha luogo ancora quando si produce l'ebullizione sotto pressioni molto più grandi o più piccole.

194. *Legge del Dalton sull'assorbimento dei gas fatto dai liquidi, confermata dall'esperienze* — Si sa che un liquido messo in presenza di un gas ne assorbe una quantità, il cui volume ricondotto alla pressione del gas esterno, e alla temperatura di o gradi, sta in rapporto costante con il volume del liquido. Questo rapporto costante può ricevere il nome di coefficiente d'assorbimento. Fatte dal Bunsen esperienze sotto pressioni poco differenti dalla pressione atmosferica, e con temperature da 0° a 20°.C. Egli ha rilevati i seguenti coefficienti, ove t rappresenta la temperatura, ed a il coefficiente.

per l'Azoto

$$a=0,020346-0,00033887.t+0,00001156.t^2$$

per l'Idrogeno

$$a=0,0193$$

per l'Ethylio

$$a=0,031474-0,0010449.t+0,0000250066.t^2$$

per l'Ossido di Carbonio

$$a=0,032874-0,00081632.t+0,000016421.t^2$$

per il Gas delle maree

$$a=0,05449\quad 0,0011807.t+0,000010278.t^2$$

per il Metilio

$$a=0,0871-0,0033242.t+0,0000603.t^2$$

per il Gas oleficante

$$a=0,25629-0,00913631.t+0,000188108.t^2$$

per il Gas Acido Carbonico

$$a=1,7967-0,07761.t+0,0016424.t^2$$

per il Gas Ossigeno

$$a=2,0225(020346-0,00033887.t+0,00001156.t^2)$$

Dalle esperienze dello Schoenfeld rilevasi

per l'Acido solforoso

$$a=68,86-1,86.t+0,012.t^2$$

per l'Idrogene solforato

$$a=4,3706-0,0837.t+0,0005t^2$$

per il Cloro

$$a=3,0343-0,04611.t+0,000111t^2$$

Quest' ultima formula non è verificata coll'esperienza che da 10° fino a 40°, mentre l'altre due sono verificate da 0° fino a 40°; e le formule di sopra son dedotte da 6 esperienze fatte tra la temperatura di 0ᶜ, e di 20ᶜ.

195. *Permeabilità ai gas dei tubi di cemento* — Le seguenti esperienze sono state eseguite sù cemento fabbricato dalla Compagnìa detta della *Porta della Francia*. In un volume di cemento si mescola un volume di sabbia non terrosa ed un volume di ghiaiottoli ben lavati e bagnati, e formata la miscela si cola il condotto di tratto in tratto annestandolo sempre col cemento fresco per modo che venga come tutto di un pezzo. Questo nel supposto che il condotto sia grande; allorchè il diametro è di circa un decimetro convien separare di 10 in 10 metri il condotto e dopo il disseccamento debbon farsi le innestature, altrimenti son da temersi alcune screpolature provenienti dal ritiro nel disseccamento. Dimostrano le esperienze che attraverso al tubo di cemento esce più facilmente il gas da illuminazione che l'aria atmosferica e nel rapporto di 156 : 100. Le perdite di gas aumentano col tempo che seguita a passare nel condotto il gas sotto una data pressione, ma però nell'invecchiare il condotto scema la sua permeabilità ai gas. Come anche tal permeabilità aumenta allorchè i tubi sono nell'aria, e decresce quando sono essi affondati sotto terra particolarmente per la umidità che ivi si mantiene; e dal tubo secco al tubo umido vi è la differenza di circa la metà di permeabilità. Il Sig. Viard al quale son dovute anche le precedenti deduzioni sperimentali ritiene che un condotto come quello di Grenoble di 10000 metri con tubo di un decimetro di diametro non perderebbe, sotto la pressione ordinaria dei gassometri, 3 centimetri, che da 5 a 6 metri cubi di gas da illuminazione per ora. In vecchi tubi percorsi molto dal gas, che porta sempre dell'umidità, ha Egli ritrovato per la detta lunghezza di tubo la sola perdita di 60 a 70 litri all'ora. Onde può concludersi che esiste in tali tubi una perdita di gas ben piccola, e trascurabile nella pratica. Sotto pressioni grandi aumenta molto la permeabilità: sotto la pressione di 3 centimetri dà la perdita di 3 litri per metro quadrato in un ora, ne dà 10 litri sotto la pressione di 24 centimetri.

Presso di noi han cominciato ad usare per il gas tubi di terra cotta verniciata nell'interno ed innestati insieme col cemento di sopra rammentato, e certamente le fughe per questi condotti non possono essere maggiori che per quelli di ferro fuso.

FINE

INDICE ANALITICO DELLE MATERIE

CAPITOLO II.

Delle vibrazioni aeree, e degli strumenti d'acustica e di musica.

CAPITOLO III.

Leggi sul movimento dei fluidi aeriformi, ventilatori, e macchine soffianti.

Efflusso da un foro.

Celerità in una corrente di fluido aeriforme.

Movimento dentro ai condotti.

Dei ventilatori.

Delle soffierie.

CAPITOLO IV.

Del movimento dell'aria e dei gas negli apparati di combustione.

Dei focolari.

Riscaldamento de' quartieri e di altri locali.

Dei cammini.

Dell'illuminazione e dell'incendio.

CAPITOLO V.

Della resistenza dell'aria, Applicazioni ai globi areostatici, ai paracadute, ec.

Resistenza dell'aria.

CAPITOLO VI.

Del vento considerato come motore, e dei mulini a vento.

Di altri gas motori.

Mulini a vento.

Della polvere da fucile considerata come motore, e delle polveri fulminanti.

CAPITOLO VII.

Della formazione del vapor d'acqua, e delle caldaie a vapore.

Delle caldaie.

Apparecchi che si uniscono alle caldaie.

Tom. Santon dis. e inc.

T. S. dis. e inc.

T. S. dis e inc.

T. S. dis e inc.

T. 8. dis. e inc.

T. S. dis. e inc.

F. 1.
F. 2.
F. 3.
F. 4.
F. 5.
F. 6.
T. S. dis. e inc.

F. 1.
F. 2.
F. 3.
F. 4.
F. 5.
F. 6.
F. 7.
F. 8.
F. 9.
F. 10.
F. 11.
F. 12.
F. 13.
F. 14.

Pneum Tav. VIII.
F. 1
F. 2
F. 3
F. 4
F. 5
F. 6
F. 7
F. 8
F. 9
F. 10
T. S. dis. e inc.

T. Santon dis. e inc

T. S. dis. e inc.

Pneum. Tav. XI.

T. Santoni dis. e inc.

T. Sanconi dis. e inc.

Pneum Tav. XIII.
F. 3.
F. 2.
F. 1.
F. 4.
F. 5.
F. 8.
F. 9.
F. 7.
F. 6.
F. 10
F. 11.
F. 12.
T. Santoni dis e inc